



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

# Disseny d'un sistema de supervisió d'alimentació d'instruments de mesura de baix soroll

Document:

Memòria

Autor:

Roger Cañada

Director:

Joan Montanyà

Titulació:

Grau en Enginyeria Elèctrica

Convocatòria:

Tardor, curs 2021/2022

# TREBALL DE FI D'ESTUDIS









## Resum

Quan es volen mesurar certs fenòmens, el soroll electromagnètic en l'alimentació pot ser un element que s'ha d'evitar el màxim possible. Per exemple, els sensors de mesura de camp electromagnètic en el rang ELF-VLF del grup de recerca de llamps de la UPC, per tal de minimitzar les interferències, cal alimentar-los mitjançant bateries, però aquestes han de ser carregades en algun moment, llavors es necessiten elements de transmissió aïllats que poden comunicar aquesta informació. Tot i existir algunes cablejades, com poden ser optoacobladors, filtres, transformadors o solucions de comunicacions sense fils, com el Bluetooth®, aquestes solen no ser la millor opció quan mesurem fenòmens com poden ser els llamps: en mesures properes la necessitat d'aïllament dielèctric elevat i la necessitat d'un baix soroll de baixa freqüència en mesures globals com la ressonància Schumann. En aquest projecte es realitzarà el disseny d'un sistema per l'alimentació de sensors mitjançant bateries que permeti garantir l'aïllament elèctric amb la xarxa. El sistema consta de dues bateries on, mentre una està en servei, l'altra es troba en càrrega. Les bateries es connecten al instrument o al carregador mitjançant relés. El sistema, incorpora una connexió òptica, es a dir, fibra, per tal de poder prendre les dades de les bateries que alimenten als sensors, i poder commutar entre les bateries, y mantenir alimentat mentre una altra bateria es càrrega.

Amb això, es crearà un prototip que pugui realitzar les tasques de supervisió de les bateries, controlant el voltatge i corrent que aquestes subministren, alhora que no genera cap tipus d'interferència dintre del circuit del sensor. Això permetrà garantir una alimentació constant, sobre la qual es podrà construir a una plataforma ampliable de sensors que proveeixi més informació a qualsevol usuari.

## Índex

RESUM.....	I
ÍNDEX.....	II
ÍNDEX DE TAULES .....	IV
ÍNDEX DE GRÀFICS .....	IV
ÍNDEX DE FIGURES .....	IV
LLISTA D'ABREVIATURES/GLOSSARI.....	V
<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJECTE.....	1
1.2 ABAST .....	1
1.3 REQUERIMENTS .....	2
1.4 JUSTIFICACIÓ .....	2
<b>2 ANTECEDENTS I REVISIÓ DE L'ESTAT DE LA QÜESTIÓ .....</b>	<b>3</b>
2.1 TÈCNiques COMUNS PER GARANTIR L'ÀLLAMENT .....	3
.....	5
2.2 EXEMPLES D'APLICACIONS EN MESURA DE LLAMPS .....	5
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>6</b>
3.1 PÀGINES WEB .....	6
3.2 PROGRAMARI .....	7
3.3 TECNOLOGIA .....	8
3.4 MATERIAL.....	9
<b>4 PLANTEJAMENT D'ALTERNATIVES I DECISIÓ SOLUCIONS. ....</b>	<b>10</b>
4.1 ÀLLAMENT .....	10
4.2 PROTOCOLS DE COMUNICACIÓ .....	12
4.3 MAQUINARI .....	14
<b>5 DESENVOLUPAMENT TEÒRIC DEL PROJECTE .....</b>	<b>17</b>
5.1 <i>QUALITY-GATES</i> .....	17
5.1.1 <i>Recerca d'informació</i> .....	17
5.1.2 <i>Selecció i adquisició de components</i> .....	17
5.1.3 <i>Programació dels components i testeig de funcionament</i> .....	18
5.1.4 <i>Disseny i desenvolupament de la PCB</i> .....	18
5.1.5 <i>Soldadura i testeig de material</i> .....	18
5.1.6 <i>Testeig del prototip</i> .....	18
5.2 RECERCA D'INFORMACIÓ .....	19
5.3 SELECCIÓ I ADQUISICIÓ DE COMPONENTS .....	21
5.4 PROGRAMACIÓ DELS COMPONENTS I TESTEIG DE FUNCIONAMENT .....	27
5.4.1 <i>Arduino Nano Every</i> .....	27
5.4.2 <i>Arduino Mega</i> .....	30
5.5 DISSENY I DESENVOLUPAMENT DE LA PCB .....	38
5.5.1 <i>Arduino Nano Every</i> .....	38
5.5.2 <i>Arduino Mega</i> .....	43
<b>6 DESENVOLUPAMENT PRÀCTIC DEL PROJECTE .....</b>	<b>47</b>
6.1 CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP .....	47



6.1.1	Mesura del ADC.....	51
6.1.2	Emissió de dades.....	53
6.1.3	Recepció de dades .....	53
6.2	TESTEIG DEL PROTOTIP .....	55
<b>7</b>	<b>RESUM DEL PRESSUPOST I ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>REFERÈNCIES I BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>61</b>

## Índex de taules

TAULA 1 COMPARATIVA DE PROTOCOLS.....	14
TAULA 2 COMPARATIVA DE TECNOLOGIES .....	16
TAULA 3 NOMBRE DE COMPONENTS .....	26
TAULA 4 COMPONENTS PERIFÈRICS A LA PCB DE BATERIA .....	39
TAULA 5 CONNEXIONS DINTRE DE LA PCB BATERIA. ....	41
TAULA 6 COMPONENTS PERIFÈRICS DE LA PCB DE RELÉS .....	43
TAULA 7 CONNEXIONS DINTRE DE LA PCB DE RELÉS .....	45
TAULA 8 COSTOS ASSOCIATS AL PROJECTE. ....	58

## Índex de gràfics

GRÀFIC 1 VALORS TEÒRICS AL CIRCUIT. ....	52
--	----

## Índex de figures

FIGURA 1 FUNCIONAMENT D'ALTERNATIVES AÏLLANTS. (FONT: TEXAS INSTRUMENTS) .....	3
FIGURA 2 AÏLLAMENT INDUCTIU. (FONT: TEXAS INSTRUMENTS) .....	4
FIGURA 3 AÏLLAMENT CAPACITIU. (FONT: TEXAS INSTRUMENTS) .....	5
FIGURA 4 AÏLLAMENT ÒPTIC. (FONT: TEXAS INSTRUMENTS) .....	5
FIGURA 5 LOGOTIP DE SEED STUDIO (FONT: SEED STUDIO).....	7
FIGURA 6 LOGOTIP DE AUTODESK EAGLE (FONT: AUTODESK EAGLE).....	7
FIGURA 7 SOLDADOR D'ESTANY .....	8
FIGURA 8 DESSOLDADOR MECÀNIC DE SUCCIÓ .....	9
FIGURA 9 CONNECTOR DE TECNOLOGIA ST. (FONT: CABLEMATIC). ....	10
FIGURA 10 CIRCUIT DEL HFBR. (FONT: AGILENT TECHNOLOGIES).....	11
FIGURA 11 CONNEXIÓ DEL PROTOCOL UART. (FONT: ROHDE-SCHWARZ) .....	13
FIGURA 12 CONNEXIÓ DEL PROTOCOL SPI. (FONT: DIGI-KEY ELECTRONICS).....	13
FIGURA 13 CONNEXIONAT D'UN SISTEMA I2C. (FONT: WIKIPEDIA) .....	14
FIGURA 14 PORTS SÈRIE DE L'ARDUINO MEGA (FONT: ARDUINO FÓRUM) .....	15
FIGURA 15 CIRCUIT ELÈCTRIC D'UN RELÉ. (FONT: CHRVOJE ENGINEERING) .....	16
FIGURA 16 QUALITY-GATES DEL PROJECTE. ....	17
FIGURA 17 ESQUEMA DEL CIRCUIT SOBRE EL QUAL HEM D'ACTUAR. ....	19
FIGURA 18 CIRCUIT DEL NOSTRE PROJECTE. ....	20
FIGURA 19 CIRCUIT COMPLET. ....	21
FIGURA 20 CONTROLADOR ARDUINO NANO EVERY. (FONT: ARDUINO) .....	21
FIGURA 21 ADC ADS1115 AMB PINS DE SOLDADURA (FONT: ALIEXPRESS).....	22
FIGURA 22 EMISOR HFBR-1414MZ.....	22
FIGURA 23 CONVERTIDOR DC/DC TSR 0.5. (FONT: TRACO POWER) .....	23
FIGURA 24 CIRCUIT DEL SN55451BJG (FONT: TEXAS INSTRUMENTS) .....	23
FIGURA 25 SENSOR ACS758KCB-150B-PFFB-T.....	23
FIGURA 26 ARDUINO MEGA .....	24
FIGURA 27 DIMENSIONS I PINS DE SORTIDA D'UN CONVERTIDOR DC/DC TRACO POWER TSR0.5. (FONT: TRACO POWER) .....	24
FIGURA 28 RECEPTOR HFBR-2416Z .....	24
FIGURA 29 MÒDUL DE 4 RELÉS SRD-05VDC-SL-C.....	25
FIGURA 30 MÒDUL MICRO SD INSTAL·LAT A UNA PCB .....	25
FIGURA 31 MÒDUL RTC DS3231 .....	26
FIGURA 32 DISTRIBUCIÓ DE CODI ARDUINO. ....	27
FIGURA 33 CODI COMPILAT I PUJAT SENSE ERROR A ARDUINO IDE .....	28
FIGURA 34 CONNEXIÓ DEL ADC. (FONT: ADAFRUIT).....	29
FIGURA 35 RESULTATS OBTINGUTS PEL MONITOR SÈRIE.....	30
FIGURA 36 PRIMERA PART DEL CODI. ....	31



FIGURA 37 SEGONA PART DEL CODI.....	31
FIGURA 38 TERCERA PART DEL CODI .....	32
FIGURA 39 QUARTA PART DEL CODI.....	33
FIGURA 40 VALORS DE VOLTATGE D'UNA BATERIA DE LiFePO4. (FONT: WIKIMEDIA).....	36
FIGURA 41 CONTINGUT DE L'ARXIU DATALOG.....	37
FIGURA 42 SITUACIÓ DELS RELÉS. ....	37
FIGURA 43 LLIBRERIES INCLOSES.....	38
FIGURA 44 CONJUNT DE L'EMISOR ÒPTIC.....	39
FIGURA 45 SCHEMATIC CORRESPONENT AL CONTROLADOR DE LA BATERÍA. ....	40
FIGURA 46 SCHEMATIC DE LA RESTA DE COMPONENTS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
FIGURA 47 PCB RESULTAT.. .....	42
FIGURA 48 VISTA GLOBAL DEL RECEPTOR ÒPTIC.. .....	43
FIGURA 49 SCHEMATIC COMPLERT DEL CONTROLADOR DE RELÉS.....	44
FIGURA 50 PART INFERIOR DEL CIRCUIT. ....	44
FIGURA 51 BOARD CORRESPONENT AL CONTROLADOR DE RELÉS. ....	46
FIGURA 52 RESULTAT INFORMATIU DE SEEDSTUDIO.....	47
FIGURA 53 ERROR DE MASSA. ....	48
FIGURA 54 ERROR DE ADC.....	48
FIGURA 55 RESULTAT DE LA SOLDADURA MÍNIMA NECESSÀRIA PER LA PCB DE BATERIA. ....	49
FIGURA 56 PCB AMB ARDUINO MEGA I RELÉS.....	50
FIGURA 57 INSTAL·LACIÓ COMPLETA DE TOTES LES PCB AMB TOTES LES ARDUINO CONNECTADES. ....	50
FIGURA 58 MESURA D'ALIMENTACIÓ.....	51
FIGURA 59 MESURA AL DIVISOR DE TENSIÓ. ....	52
FIGURA 60 MOSTRA ÒPTICA. ....	53
FIGURA 61 SITUACIÓ DEL DOCUMENT DATALOG QUAN ES CONNECTEN ELS DOS POTS UART. ....	54
FIGURA 62 TEST SUPERIOR A 12.5V.....	55
FIGURA 63 TEST INFERIOR A 12.5V.....	56
FIGURA 64 REGISTRE DE VALORS.. .....	57
FIGURA 65 SOLUCIÓ D'ERROR A MASSA.....	59
FIGURA 66 SOLUCIÓ D'ERROR A ADC. ....	59
FIGURA 67 SOLUCIÓ D'ALIMENTACIÓ AL RECEPTOR ÒPTIC.....	60
FIGURA 68 BOARD AMB UNA ARDUINO UNO. ....	61

## Llista d'abreviatures/Glossari

**PCB:** *Printed Circuit Board*, placa de circuit imprès; Placa no conductora amb divisions, camins, capes i orificis connectors.

**LED:** *Light-Emitting Diode*, díode emissor de llum. Díode que emet llum quan un corrent circula pels seus terminals.

**ADC:** *Analogic-Digital Converter*, convertidor analògic-digital. Circuit que tradueix senyals analògiques a senyals digitals.

**TFG:** *Treball de Final de Grau*, treball que es realitza al finalitzar un grau. També s'anomenarà projecte al llarg del document.

**ST:** *Straight Tip*. Connexió recta. Tipus de connector estàndard per a fibra òptica.

**UART:** *Universal Asynchronous Receiver/Transceiver*. Recepció/transmissió asíncrona universal, protocol basat en l'enviament per un port emissor i un receptor.

**I2C o I<sup>2</sup>C:** *Inter-Integrated Circuit*. Circuit inter-integrat, protocol de comunicació basat en dos fils i que permet diversos elements

SPI: *Serial Peripheral Interface*. Interfície perifèrica en sèrie, protocol de comunicació que comunica màsters amb esclaus i viceversa.

SD: *Secure Digital*. Dispositiu en forma de tarja per guardar-hi dades.

RTC: *Real Time Clock*. Rellotge d'ordinador, que manté l'hora actual. Es troba en un circuit integrat.



## 1. Introducció

### 1.1 Objecte

L'objectiu del present treball de final de grau (TFG), es el disseny d'un sistema de supervisió d'alimentació mitjançant bateries, que garanteixi les necessitats d'aïllament dielèctric i de baix soroll d'alimentació de certs instruments. El propòsit es un sistema per la gestió de l'alimentació en sensors, que per necessitat de soroll d'alimentació, cal que s'alimentin en bateries. En aquests sensors fins ara calia reemplaçar bateries manualment o es realitzava mitjançant automatismes. En aquest projecte es dissenya un sistema on, d'una manera aïllada, s'obtingui informació de les bateries per poder determinar l'estat de càrrega i es realitzi una commutació per tal de que sempre una bateria alimenti al instrument i l'altra estigui en càrrega. L'aïllament dielèctric es garantitza mitjançant relés que realitzen la commutació. Aquests poden ser relés simples o d'alta tensió com relés de buit. Durant aquest projecte, es valoraran diverses opcions de comunicació, es dissenyaran elements per tal de desenvolupar prototips, i es construiran elements d'assaig per tal de poder determinar de forma realista, el funcionament del prototip.

### 1.2 Abast

L'abast del TFG inclou els següents punts:

- la revisió de les alternatives que permeten garantir l'aïllament en les alimentacions de sensors.
- La proposta d'un disseny conceptual del sistema.
- El disseny electrònic de les diferents parts del sistema.
- La programació dels microcontroladors per l'operació del sistema.
- La construcció d'un prototip.
- La realització de proves de validació del funcionament bàsic del prototip.
- La proposta de modificacions per l'equip final.

Queda fora de l'abast del projecte:

- Proves d'aïllament dielèctric.
- La construcció d'un equip per utilització. Es a dir, la construcció d'una versió final de l'equip amb les modificacions proposades així com les carcasses, etc.
- Modelització del comportament de la càrrega a alimentar.
- El circuit alimentat, més enllà de les bateries. Es a dir, l'obtenció de dades del sensor, condensadors pel canvi d'estat, etc.

### 1.3 Requeriments

En general, el sistema ha de ser capaç de mantenir un sensor alimentat amb bateria mentre una segona bateria es troba en càrrega. La bateria que alimenta al sensor s'ha de trobar aïllada de la xarxa. Aquest aïllament l'ha de proporcionar uns contactes de relé, que en l'aplicació final poden ser relés d'alta tensió de buit. La connexió i desconnexió de les bateries a la càrrega a alimentar (sensor) o al carregador es realitzarà mitjançant la informació de l'estat de bateries a partir de sensors incorporats a la bateria. Per tal de garantir l'aïllament, la informació mesurada a les bateries, com la tensió, s'ha de transmetre de forma aïllada a un microcontrolador per tal de que realitzi l'avaluació de l'estat de les bateries i la maniobra dels relés.

Les dades de les mesures realitzades a les bateries s'enviaran a un microcontrolador central mitjançant fibra òptica. S'han de fer servir elements accessibles, dintre dels costos i complexitat en el qual es troba aquesta tecnologia.

Els microcontroladors a utilitzar han de ser econòmics, de fàcil programació i substitució. Es proposen com a punt de partida emprar plataformes de microcontrolador Arduino. En el cas d'aquesta plataforma, s'ha de permetre la futura incorporació de nous elements que dotin de noves capacitats que es desitgin, de forma fàcil, i amb compatibilitat amb el codi existent.

Per al control de bateries, el sistema ha de ser fàcil de replicar, amb element de fàcil substitució i econòmics, degut a que es possible que aquest s'hagi de substituir en el cas de l'impacte d'un llamp, ja que es pot malmetre l'equipament.

Per tal de ser segur per al personal que manipuli el sistema, s'ha d'incorporar algun element d'avís que indiqui quin es l'estat de connexió de bateria, per exemple, si s'ha de substituir una bateria per motius de la salut d'aquesta, llavors ha de ser visible a simple vista quina de les bateries esta connectada, per tampoc desconnectar el sistema. Cal habilitar algun mètode de seguiment de les bateries, que

### 1.4 Justificació

Vivim en una època on volem aprendre sobre tot, obtenir dades, y saber quin es el funcionament de la naturalesa. Per tal de mesurar elements y valors, requerim de sensors diversos, que poden traduir qualsevol valor, sigui temperatura, corrent, pressió o soroll, a unitats que puguem manipular i poder valorar de forma útil.

Un del elements naturals més impactant són, per exemple, els llamps. Els llamps es caracteritzen per uns corrents impulsional de varis milers d'ampers. Aquests corrents tant elevats poden, per una banda, produir sobretensions molt elevades que poden fer malbé sistemes elèctrics incloent els propis sensors de mesura destinats a mesurar corrents de llamps. Per altre banda, aquests corrents produeixen camps electromagnètics molt intensos capaços de ser detectats de forma global. Aleshores, quan es realitzen mesures



Aïllament inductiu: En aquest tipus d'aïllament s'usen dues bobines o transformador, i mitjançant la llei de Faraday, fent passar corrent per una de les bobines, el camp magnètic variant dintre d'aquesta, induïx en la segona bobina un voltatge. Es un sistema molt emprat en sistemes de transmissió d'alimentació, popularment fet servir en transformadors, però també te usos en aïllaments analògics, i es degut a que es eficient, però pot ser susceptible a variacions de camp magnètic externes. Com es pot observar a la il·lustració 2, l'aïllador magnètic ADuM3190, on tenim dos sistemes, i que transmet la informació a través del bobinat.

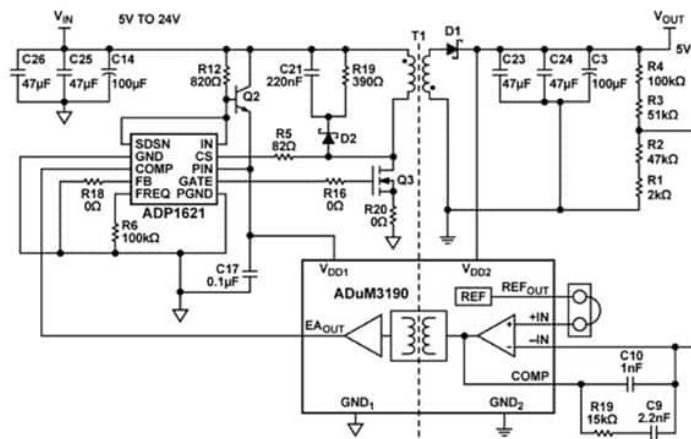


Figura 2. Aïllament inductiu. Circuit d'un ADuM3190, el qual conté dos aïllaments inductius. (Font: Texas Instruments)

Aïllament capacitiu: Consisteix en la col·locació de dues plaques de forma pròxima, amb un dielèctric entre elles (un condensador), fet que permet tenir una barrera aïllant de fins a 31.6kV segon els material del dielèctric. L'aïllament capacitiu ocupa un espai força reduït, però te una complexitat major en quant a circuits que altres alternatives. Aquest funciona de forma que un cop rebuda qualsevol senyal, la modula a forma digital, i la transmet a traves del aïllament, on es corregeix a la senyal desitjada. La complexitat d'aquesta variant, rau en el fet d'haver de corregir i remodulars els senyals que es reben altre cop a analògic. Això es pot observar a la il·lustració 3, on hi ha varis subcircuits que componen, en aquest cas, el AMC1311DW.

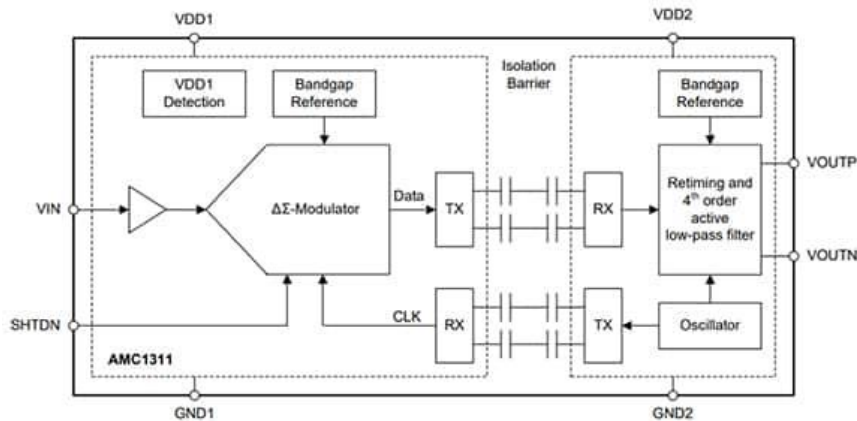


Figura 3. Aïllament capacitiu. Aïllador analògic capacitiu AMC1311DWV (Font: Texas Instruments)

Aïllament òptic: Es basa en la separació mitjançant un LED i un fotoreceptor. La senyal es transmet de forma lumínica i aquesta es rebuda mitjançant una variació al fotoreceptor. Es immune als camps magnètics i elèctrics, però les condicions poden malmetre el LED. Es poden transmetre senyals analògiques o digitals, ja que es pot configurar de forma que es sigui sensible a la quantitat de llum emesa pel díode, per tal de tenir un control analògic del senyal, o un control booleà, tenint en compte si està encès o no el LED, com es el cas del IL300 de la il·lustració 4.

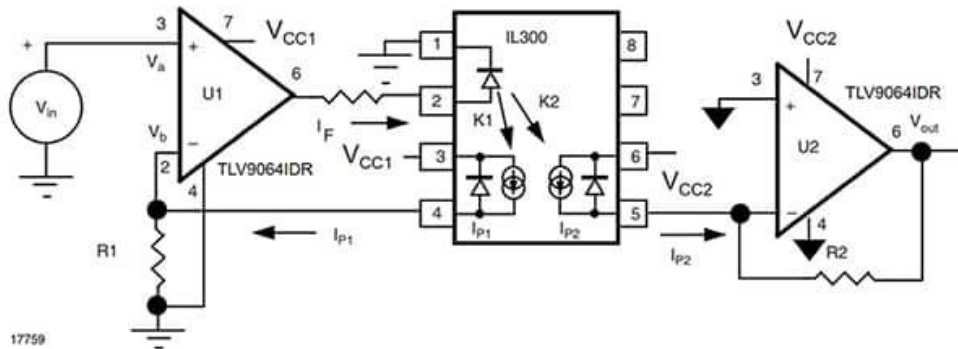


Figura 4. Aïllament òptic. S'observa que el LED del IL300 il·lumina per igual els dos fotoreceptors, els quals controlen si aquest està encès o no. (Font: Texas Instruments)

Aquestes són actualment les principals alternatives que es poden trobar al mercat, amb certa facilitat, i amb major desenvolupament, per tal de poder aïllar dos o més circuits.

## 2.2 Exemples d'aplicacions en mesura de llamps

És típic en les mesures de ressonància Schumann, la utilització de receptor de camp magnètic i/o elèctric en el rang de ( $>0.001$  a  $<300$  Hz o més). Aquests sensors mesuren la ressonància de la cavitat terra i la ionosfera on el primer harmònic es troba a uns 7.8 Hz.

Aquesta ressonància es excita per llamps energètics i es pot mesurar de forma global. Aquests sensors són altament sensibles al soroll electromagnètic dels sistemes elèctrics de potència i a les vibracions del terreny. Per això molts sistemes s'instal·len en indrets remots del planeta. Un disseny presentat per [2] mostra un d'aquests receptors i la necessitat d'alimentar-lo amb bateries i substituir-les cada 45 dies. En aquesta altra referència [3] s'indica també la necessitat d'alimentació amb bateries per la mesura de la ressonància Schumann.

També en el cas de torres instrumentalitzades per la mesura del corrent de llamp cal garantir l'aïllament de la xarxa mitjançant l'alimentació amb bateries. Aquest és el cas de la torre instrumentalitzada de Gaisberg [4] a Àustria.

### 3 Metodologia

Així doncs, tenim l'objectiu definit: Aïllar un circuit d'un altre, de forma que puguem transmetre únicament la informació. Això ens marca un full de ruta que cal tenir per arribar al nostre objectiu. Sabem que s'ha de mesurar, mínim el voltatge de les bateries, s'ha de transmetre les dades, i processar aquests valors per tal d'actuar com vulguem.

Es realitzaran totes les tasques que es puguin, en paral·lel, per tal de poder avançar uniformement i harmonitzar tots els resultats que obtinguem.

Llavors, amb la llista prèvia es defineixen les següents subtasques a realitzar:

Recerca i proposta de funcionament del sistema; Cal investigar les tecnologies existents, definir les tecnologies i especificacions, cercar els elements que necessitem en el sistema.

Disseny de plaques bases (PCB); caldrà aplicar i muntar els elements de l'apartat interior en una placa, optimitzar el disseny i esperar al transport.

Programació de l'adquisició i manipulació de dades; cal obtenir els elements designats per obtenir la mínima funcionalitat, comprovar el seu funcionament i sincronització amb la resta de components; testeig del funcionament conjunt.

Desenvolupament del prototip; es realitzarà el muntatge i soldadura dels components, es prendran mesures per confirmar els valors, i comprovació de funcionament final.

En els apartats mencionats, haurem de fer una planificació de les pàgines webs, programaris, tecnologies i material hem de poder assolir els objectius:

#### 3.1 Pàgines web

Si bé no cal definir actualment la totalitat de les pàgines, sí que podem determinar certes pàgines que seran necessàries per tal de portar a terme alguns apartats del projecte.

En una situació on el subministrament de material de forma ràpida no es trivial, haurem de realitzar la compra d'elements a compradors especialitzats, en el cas que plantegem, el



material pot ser adquirits en pàgines d'empreses com *Mouser*, *Farnell* o *RS Components*. Durant la realització d'aquest treball, cal considerar la crisi de la Covid, vagues de transportistes i problemes d'abastiment de semiconductors, pel que fa que l'elecció dels proveïdors sigui òptima.

D'acord amb la proposta inicial de fer servir Arduino al nostre projecte, ens recolzarem constantment en la seva plataforma, on hi podem trobar gran quantitat d'informació i codi auxiliar, per tal de poder optimitzar el nostre maquinari.

També s'utilitzarà el programari en línia de Seeed studio, per tal de poder fer uns anàlisis dels dissenys fets de les nostres PCB, servirà per testejar i validar els nostres dissenys, per tal de poder garantir els estàndars de qualitat industrial que envolta el procés de fabricació de les plaques, alhora que podem tenir comentari sobre el cost d'aquesta. Seeed studio es també un fabricant de PCB, pel qual en una sola pàgina web, tenint proveïdor i validador de plaques.[5]



*Figura 5. Logotip de Seeed studio (Font: Seeed studio)*

### 3.2 Programari

Durant el transcurs del projecte, els programaris es veuran implicats principalment en dos àmbits, disseny de circuits i PCBs, i programació.

Per tal de portar a terme les plaques, ens serà necessari un programari que permeti tenir un control de tots els elements que interactuen dintre del circuit plantejat, alhora que ens permet poder dissenyar virtualment tota la distribució i connexions a la pròpia PCB. Per a aquesta tasca utilitzarem el programari Autodesk EAGLE, d'ús lliure amb funcionalitat reduïda de dos projectes màxim. Com només hem de realitzar dues plaques, la versió lliure ens és vàlida. Es podran realitzar tots els arxius necessaris per tal de transmetre la informació.[6]



*Figura 6. Logotip de Autodesk EAGLE (Font: Autodesk Eagle)*

En relació a la programació, per tal de seguir harmonitzant la pròpia plataforma Arduino, i facilitar les tasques de creació i redacció de codi, es farà servir el programari lliure oficial Arduino IDE. Servirà per poder realitzar tot el procés de creació, passant per la compilació i execució del codi, fins a la transmissió de tota la informació a les nostres Arduino.

### 3.3 Tecnologia

En aquest cas, considerarem totes les tecnologies industrials que es faran servir, de les quals no hi es tingui una base sòlida, per tant, s'inclou una petita formació, sigui autodidacta o no.

La més utilitzada serà el procés de soldadura. La soldadura es un procés que uneix dos o més elements mitjançant la fusió d'un o més d'aquests. En el nostre cas, realitzarem una soldadura tova, degut a que el material que utilitzem per soldar, una combinació de plom-estany. El procés consisteix en aproximar l'element a soldar, normalment cable o un component apte de soldar per *through-hole*, al forat de la PCB, i apropar l'extrem d'un fil d'estany-plom en el punt de contacte entre els dos primers elements previs, mentre hi acostes un soldador, per tal de fondre l'aliatge i poder tenir un conjunt sòlid.



Figura 7. Soldador d'estany

Ahora, per tal de poder reciclar i reduir la quantitat de components necessari a comprar, el realitzarà el procés invers, dessoldar. Consisteix en l'eliminació del material fos, mitjançant una succió, alhora que s'aplica calor per tenir-lo a temperatura de fusió. L'equipament disponible, correspon a un dessoldador mecànic, el qual es accionat per un motlle, que absorbeix l'aliatge un cop fos, i un elèctric, el qual, dintre del propi soldador, una bomba xucla per tal d'absorbir aquell material.



*Figura 8. Dessoldador mecànic de succió*

### 3.4 Material

Amb la metodologia definida, ens caldrà definir uns components per tal d'aplicar-la, i poder tenir en compte altres consideracions, com factors econòmics o mediambientals.

Remarcar que en aquest cas, només considerem els components bàsics, es a dir, aquells per garantir els mínims del projecte. Qualsevol afegit es considera més endavant, per tal de donar més profunditat al projecte. Per tal de garantir el funcionament, haurem de tenir el següent material:

Components: Necessitarem un total de tres Arduino, una Mega que controli l'estat de les bateries, ja que requereix dues entrades serial, i dues Arduino extra, en el nostre cas es proposa dues Nano per motiu de tamany. Als components elèctrics, es sumarà els 4 relés, per tal de controlar l'alimentació de les bateries. Caldrà un ADC per tal de portar un control del voltatge de les bateries i que sigui llegible per l'Arduino. Materials comuns diversos, com poden ser LEDs, resistències, condensadors o portes lògiques.

De caràcter òptic, també serà necessari tenir uns connectors de fibra òptica, i cablejat òptic compatible per transmetre la senyal entre emissor i receptor. Aquests estaran en el

estàndard ST, una alternativa òptica barata i fiable, que ens permet aplicar la tecnologia de la fibra òptica de forma senzilla.



*Figura 9. Connector de tecnologia ST. Es igual tant en emissor com receptor (Font: Cablematic).*

També haurà elements estructurals bàsic, que tenen la funcionalitat de situar i mantenir tots els components prèviament mencionats a la ubicació que designem. En aquest grup entra principalment l'estany, el qual normalment es pot comprar en rodets per pes, sent 250gr la versió més típica. També s'hi inclouen les PCB, les quals dissenyarem segons la funcionalitat de cada subsistema.

## 4 Plantejament d'alternatives i decisió solucions.

Aquest projecte requereix de la interacció entre diversos components simultàniament, llavors cal decidir individualment per cada cas, però tenint en compte les implicacions que això repercuteix en cada un dels altres casos. Això genera un seguit de efectes que van repercutint en altres casos, obligant-nos a prendre decisions, basades en criteris que caldrà definir.

### 4.1 Aïllament

El cas que més efectes té respecte el global del sistema, degut principalment a que es la base del projecte, es el tipus d'aïllament que vulguem emprar. Tal i com hem mencionat al inici, hi ha tres grups principals en l'àmbit industrial: capacitiu, inductiu i òptic.

A les tres tecnologies prèvies, en el nostre cas, valorarem el cas de la tecnologia sense fils, on considerem una sola opció totes les tecnologies actuals com el *Bluetooth*®.

Dintre dels avantatges en el capacitiu i l'inductiu, hem mencionat ja la seva capacitat i eficiència, però un desavantatge que tenen és que han d'estar molt pròxim entre ells per tal de poder transmetre de forma òptima la informació. En el cas que es planteja de mesurar llamps, és un problema que en certs casos pot fer-se que l'aire entre aquests aïllaments s'ionitzi i es torni conductor, malmetent el material tant per la banda del sensor, com per la banda del actuator dels relés.

La solució sense fils ens permet crear dos circuits separats, transmetent aquesta senyal per ones, típicament a una freqüència de 2.4Ghz. Té l'avantatge de que, en bones condicions, pot tenir un rang sense problemes d'entre 20 i 50 metres fent servir mòduls bàsics. Si bé existeixen mòduls amb un rang encara major, aquests tenen un cost per unitat quasi 4 vegades més alt. El problema que presenta és que tendeix a ser una comunicació lenta, i si bé no tenim uns requeriments de velocitat relativament elevats, sempre és més pràctic tenir l'opció d'augmentar la velocitat de transmissió sempre que ho desitgem. Alhora, augmenta notablement la complexitat del sistema, fent-lo més difícil de programar i dissenyar, i per tant de poder portar a terme algun tipus de prototip.

Per últim, existeix la opció òptica; aquesta, segons les opcions industrials esmentades prèviament, entra dintre de les funcions dels anomenats optoacobladors. Contempla els pros dels sistemes capacitius i inductius: ser eficaç i simple. Per també existeix la possibilitat de que es puguin crear afeccions per al sistema de control dels relés.

En aquest últim cas, però, el concepte d'enviar i rebre senyals lumíniques és una tecnologia que és molt emprada en l'actualitat, i permet, igual que els optoacobladors, emetre una senyal lumínica quan una intensitat passa per l'emissor, amb una de sortida que implica la recepció de la llum que es tradueix a un senyal elèctric. Aquest aïllament es pot realitzar amb un emissor, un receptor i un cable de fibra òptica. Com s'ha esmentat prèviament, es fa servir la tecnologia ST, per tal de tenir components estàndard. Té, a més, el punt positiu de que la fibra pot comunicar a distàncies elevades, superant sense problema el quilòmetre, distància més que suficient en qualsevol cas que es vulgui aplicar el projecte en situacions reals.[7], [8]

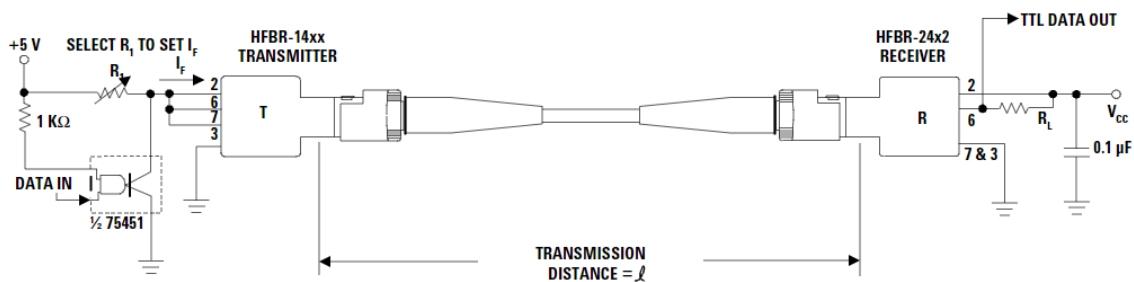


Figura 10. Circuit del HFBR. Es poden veure els elements que s'haurien d'incorporar al nostre prototip. (Font: Agilent technologies)

Així, per a la base del projecte, tenim definida l'opció d'aïllament a fer servir, un sistema de fibra òptica, que ens permetrà transmetre tota la informació al sistema de control de les bateries.

## 4.2 Protocols de comunicació

Un cop tenim definida la forma per la qual podrem transmetre les dades que volem, cal definir un protocol per tal de poder estructurar la forma en la qual aquesta informació es transmesa. Tenim definit el maquinari que s'encarregarà de processar i actuar, Arduino, el qual incorpora de per se un seguit de protocols, els quals haurem de valorar individualment, o en cas que no ens siguin vàlids, crear un propi. El disseny d'un protocol propi es descartarà de primeres, degut al fet de que genera una capa de complexitat innecessària en el treball, degut a que els protocols existents són sobradament pràctics, i el disseny del protocol no afecta al resultat del nostre projecte. L'elecció del protocol es degut a que hi ha diversos elements dintre del nostre sistema, que requereixen rebre i transmetre informació entre altres components, i per tal de permetre que hagi una comunicació comprensible, s'ha d'establir aquest protocol.

El més bàsic es el protocol UART, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, una comunicació sèrie. Es un protocol que utilitza dos fils entre el emissor i el transmissor per enviar i rebre en les dues direccions, amb una connexió a massa comuna. Hi ha variant símplex, on les dades s'envien en una direcció; variant semidúplex, on cada extrem es comunica, però només un al mateix temps; i dúplex complet, on els dos transmeten alhora. Envia la informació en l'anomenada trama, un conjunts de bits.[9]

Aquest protocol, al no ser síncron, es a dir, no tenir una senyal de rellotge compartida, implica que es simplifica el procés, però ens obliga a determinar uns requisits. El principal es que s'ha de transmetre al mateix valor de bauds, sent els típics 4800 o 9600. Respecte a la seva estructura, requereixen de bits d'inici i parada per indica on comença i acaba la informació, i s'hi pot afegir un bit de paritat per detectar errors.

En el cas de Arduino, es farien servir els pins marcats amb RX i TX, en el cas de la Arduino Uno sent el pin D1 TX i D0 RX.

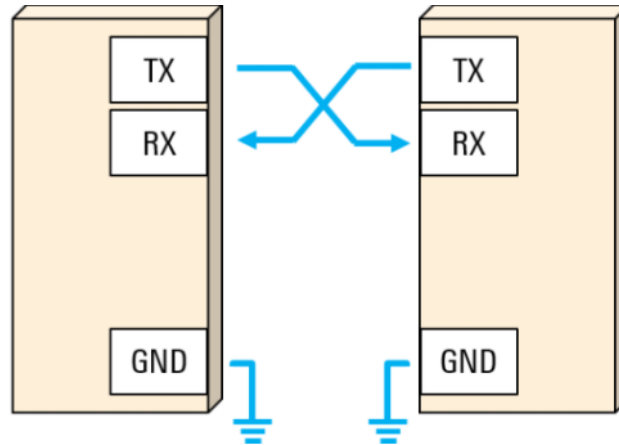


Figura 11. Connexió del protocol UART. Tx connecta amb Rx i veceversa. El GND es comú. (Font: Rohde-Schwarz)

Un altre opció es el protocol SPI (Serial Peripheral Interface), i es un altre protocol que es basa en una senyal de rellotge entre els diferents elements. Es una interfície adreçada (enfocada al component), que permet tenir diversos components simultàniament connectats. Utilitza un màxim de 4 línies, la SCK, que es el rellotge i la realitza el controlador; la CS, que es la selecció de xip que es vol comunicar; i les línies de transmissió de dades MOSI (Master Out Slave In) i MISO (Master In Slave Out), segons quin flux d'informació es vol.[10], [11]

Per tal de poder tenir aquestes connexions, haurem de connectar els Pins A13 i A10, que són SCK i CS respectivament, en els seus homònims. El Master In, A12, connectarà amb el A11, que es el Master Out, fent el mateix procés en els dos controladors.

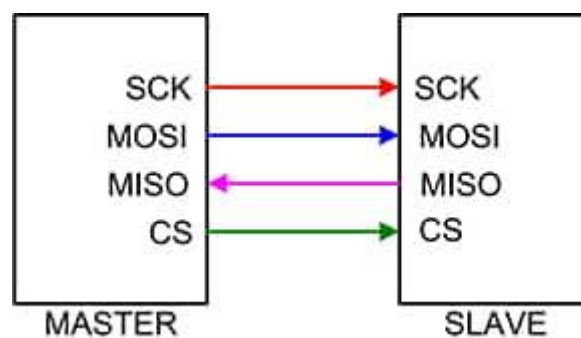


Figura 12. Connexió del protocol SPI. S'alterna el MOSI i MISO, i es connecta el SCK i CS. (Font: Digi-Key Electronics)

Finalment, en quant a protocols, ens resta el I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) també conegut com I2C, que es basa en senyal de rellotge i es adreçable. Aquest protocol, es basa en dos connexions, el rellotge que requereix, SCL, i la línia de transmissió de dades, el SDA. Aquest protocol ens permet poder connectar simultàniament més d'un component, ja que les línies són bidireccionals.

Per al cas de I<sup>2</sup>C, requeriríem de connectar entre si, els pins D19, corresponent al SCL, i D18, corresponent al SDA.[12], [13]

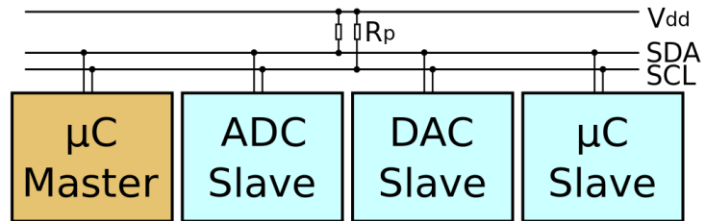


Figura 13. Connexionat d'un sistema I2C. Comparteixen els pins SDA y SCL. (Font: Wikipedia)

Un cop s'han valorat les opcions que proposa Arduino, farem una petita valoració de cadascun.

Taula 1 Comparativa de protocols

Característica \ Protocol	UART	SPI	I <sup>2</sup> C
Connexions	2	5	4
Velocitat de transmissió	Mitja	Alta	Molt alta

A la taula 1, hem comparat els dos elements que ens afecten per tal de decidir, la velocitat de transmissió i la quantitat de connexió, que es el número de cablejat, que implica un cost econòmic, degut a que per cada connexió caldrà un receptor, un transmissor i un cable, i la velocitat, la qual, si bé no es mencionada en l'explicació, te un rol secundari, degut a que treballem amb un procés lent, com es la descàrrega d'una bateria.

Així, el protocol seleccionat es el UART, i es degut a que, per l'estructura necessària per realitzar les connexions, només connectarem els TX de l'Arduino que mesura les bateries al RX de l'Arduino que controla els relés, degut a que no hi ha flux d'informació a l'inrevés. La massa no serà necessària degut al funcionament de la fibra òptica, que genera polsos en base a massa i línia de cada PCB en concret.

### 4.3 Maquinari

La selecció del protocol UART, ens trobem en un cas: Hem de connectar els RX de les Arduino de bateries al TX de l'Arduino dels relés. En el cas d'emetre, no tenim problema, degut a que qualsevol dels models Arduino tenen, mínim, un port RX, per això, escollirem la versió més barata d'Arduino per aquest cas, que es la Arduino Nano Every, normalment acurtada a Nano Every.



Per al receptor, però, s'apliquen més restriccions: Degut a que tenim dues senyals emeses, i aquestes corresponen a ports diferent, ha d'haver algun tipus de distinció entre aquestes senyals un cop siguin emeses.

Les alternatives són dues, mitjançant programari, o mitjançant maquinari, pel qual podem tenir diferents formes de tenir tot el processat.

Mitjançant programari, podem utilitzar llibreries d'Arduino que ens permeten convertir un port digital a un port sèrie, i es fa mitjançant la llibreria *SoftwareSerial.h*. Aquesta ens permet reconvertir dos ports a un TX i un RX, mitjançant l'ordre: `SoftwareSerial mySerial(2, 3);` On el pin D2 es el RX i el D3 el TX.

Si bé es poden crear nous ports, malauradament, esta limitat en quan a recepció de dades, ja que no es poden rebre simultàniament tots els ports sèrie, i te una velocitat màxima de 115200 bauds.

Ara bé, es pot utilitzar un maquinari diferent, com pot ser una Arduino Mega. En aquest cas, aquest controlador de per defecte 4 ports compatibles amb UART, tenint els límits propis del protocol. Aquests pins són els D0, D15, D17, D19 per a RX, i D1, D14, D16, D18 per a TX. [14]–[16]

En aquest cas en la programació, únicament s'ha d'indicar el port al qual es vol fer referencia, segons el número de port, D0/D1 Serial.ordre, D14,D15 Serial3.ordre, D16,D17 Serial2.ordre, D18,D19, Serial1.ordre, on ordre correspon a l'acció que es vol programar en el port sèrie estriat.

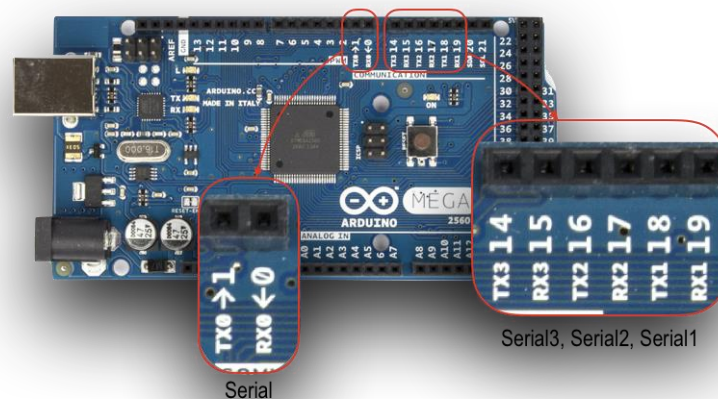


Figura 14. Ports sèrie de l'Arduino Mega (Font: Arduino fórum)

Amb això podem comparar conceptualment quina opció ens és més pràctica:

Taula 2 Comparativa de tecnologies

Característica\Alternativa	Maquinari	Programari
Cost	Mig	Baix
Velocitat	Màxima	Limitada
Transmissió de dades	Simultània	Individual

Podem observar doncs, que si bé la opció d'adaptar el maquinari té un cost més elevat, el fet de poder rebre les dades que desitgem alhora ens permet tenir un control més pràctic de les dades. Alhora, en cas de futurs casos amb més bateries, la Mega permetria compatibilitat absoluta fins a les 4 fonts d'alimentació. Per tant, s'escull una Arduino Mega.

Paral·lelament, tenint en compte la funcionalitat a la qual tenim prevista sotmetre el nostre projecte, mesura de llamps, valorem també la possibilitat de fer servir relés de buit.

Aquests relés tenen la característica de poder aïllar grans voltatges entre els seus borns, fent que qualsevol impacte suposat al sensor, no tingui conseqüències a la placa dels relés. L'alternativa són els relés habituals de mòduls Arduino, els quals venen agrupats en un únic component, la totalitat de relés necessaris.

En ambdós casos, el funcionament base del relé es el mateix, on es té una connexió normalment oberta i una altra normalment tancada, i mitjançant l'excitació d'un electroimant, es canvia el port connectat, si s'excita l'electroimant, el port normalment obert estarà connectat, i a l'inrevés.

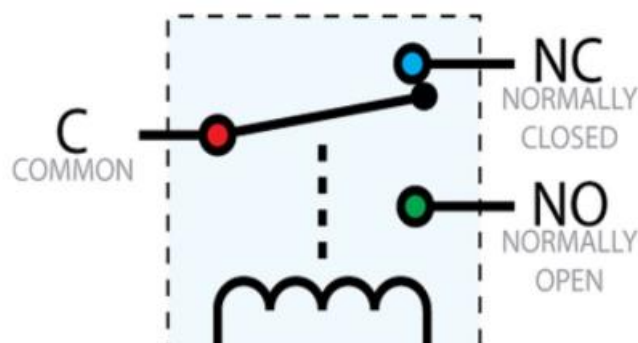


Figura 15. Circuit elèctric d'un relé. La connexió inicial es el comú amb el port normalment tancat. Si la bobina inferior s'alimenta, el port normalment obert queda connectat (font: Chrvoje engineering)

En aquest cas, i per la naturalesa del prototip, la solució clara són els relés habituals, això es degut a que el cost dels relés de buit són fins a 10 vegades superior als dels relés habituals, i a l'hora de realitzar un test amb el prototip, la funcionalitat es podrà veure amb aquests. La incorporació dels relés de buit es valoraria més endavant dintre del desenvolupament d'un prototip menys experimental.

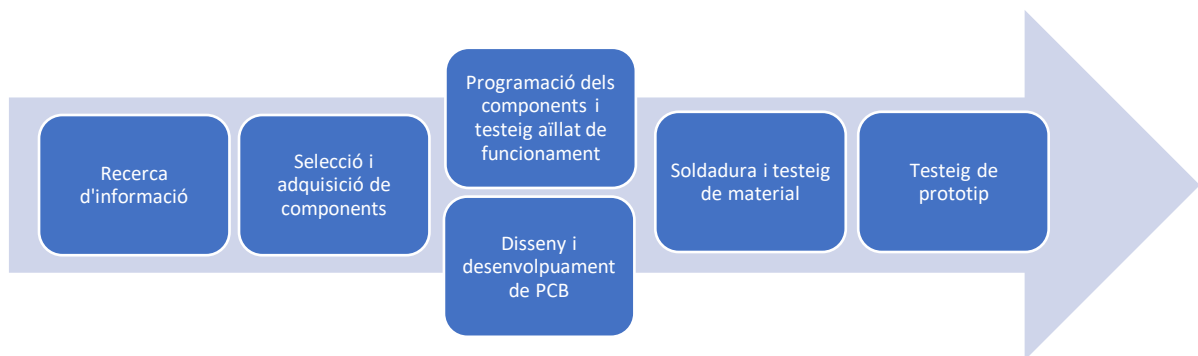
## 5 Desenvolupament teòric del projecte

Sobre al taula ja tenim tot el procés a realitzar, els components necessaris per dur a terme el projecte i com es podrà materialitzar. Això requerirà d'una estructuració per tal de poder tenir algun tipus de comprovació i seguiment de cada bloc.

### 5.1 Quality-Gates

Així doncs, ens basarem en el procés de *Quality-Gates*. Aquest procés es un seguit de requisits que, segons quedin dividits, s'hauran de superar per tal de poder portar passar al següent punt. Cada punt te un o més requisits per tal de poder ser superat.

Es realitzarà de la següent manera:



*Figura 16. Quality-Gates del projecte. Passarem per cada un d'aquests blocs, sense passar al següent si els previs no estan superats.*

Tenim subdividides les nostres tasques, i això ens serveix tant per poder organitzar el projecte, com ho faria un pla de projecte, i com a forma de poder anar validant gradualment el nostre projecte, permetent-nos tancar etapes amb garanties.

#### 5.1.1 Recerca d'informació

En aquesta *Quality-Gate*, ens hem d'assegurar la obtenció de tota la informació necessària per tal de poder plantejar el projecte i tenir una base sòlida sobre la qual poder-nos basar durant tot el projecte. Majoritàriament, la visió teòrica s'ha vist en els punts previs al punt actual (5.1.1) on s'ha pogut determinar les necessitats del projecte. Tot i així, haurà nous apartats que requeriran informació específica, com poden ser les fitxes de dades dels elements involucrats o dubtes que poden sorgir durant el desenvolupament. Per tal de poder anar a la següent *Quality-Gate*, únicament valorarem els aspectes teòrics per poder avançar.

#### 5.1.2 Selecció i adquisició de components

En aquest punt, incloem tot el procés d'obtenció dels components. Tot aquells elements que vulguem incloure en el nostre projecte, i requereixin una valoració tècnica i una posterior compra o incorporació, han de ser valorades. Cal tenir en compte que no tots els elements han de ser comprats, existeix la possibilitat que alguns elements estiguin disponibles a la universitat, siguin propietat de l'estudiant o es puguin reaprofitar d'altres projectes mitjançant dessoldadura.

S'ha de garantir la funcionalitat bàsica del projecte, però també es tindran en compte característiques que es poden implementar. Un cop s'hagin definit els components, es podrà procedir. No es contempla la recepció dels components dintre d'aquest punt, degut a que, amb la crisi del Covid, vagues de transportistes i problemes d'abastiment, la data de recepció no es segura, llavors es procedirà a seguir endavant tot i no tenir tots els components.

### 5.1.3 Programació dels components i testeig de funcionament

Aquesta *Quality-Gate* es troba en paral·lel amb la 5.1.4, degut a que són processos complementaris: requereixen comprovacions de que un i l'altra són factibles. En aquest punt, es programarà i es posarà a prova els components designats, es a dir, es realitzarà individualment el codi per a una Arduino, i es farà una prova amb els components i l'Arduino designada.

Un cop els codis funcionin individualment, es permet poder verificar de forma teòrica el procés que succeeix en el nostre projecte, podent garantir una funcionalitat, llavors podem tancar aquesta *Quality-Gate*.

### 5.1.4 Disseny i desenvolupament de la PCB

Paral·lelament al 5.1.3, necessitem PCB per tal de poder tenir un ordre a l'hora del muntatge, llavors es necessari dissenyar i validar telemàticament les plaques. Degut a que ens veiem afectats al funcionament del punt previ, es possible que les connexions variïn i s'hagin de realitzar canvis al programari per tal d'adaptar i harmonitzar ambdues situacions.

Un cop es comprovi el compliment de la funció de la PCB, sigui amb les webs com Seedstudio o reunions amb el director de projecte, es podrà donar per vàlid el punt i sol·licitar al fabricant. Es requereix que arribi per tal de poder avançar a la següent *Quality-Gate*, ja que si no, no es pot realitzar el muntatge.

### 5.1.5 Soldadura i testeig de material

Un cop validada la programació i tinguem tot el material necessari, es realitzarà el muntatge d'aquests. Si el material necessari mancava es troba al laboratori en projectes previs, es realitzarà el procés de dessoldadura. Es procedirà a soldar tot el material a les nostres PCB, i verificant individualment els valors per verificar que són valors vàlids o tolerables

Un cop tinguem els valors de cada component soldat ja validat, es podrà passar la *Quality-Gate*.

### 5.1.6 Testeig del prototip

Finalment, cal comprovar que la globalitat del projecte es coherent, i que es possible obtenir resultats vàlids per tal de validar el projecte. Es realitzarà el testeig conjunt dels components i realitzaran ajustaments necessaris en cas de falles.

Es donarà per vàlid si es la funcionalitat desitjada es recreable, dintre dels estàndards i limitacions que suposa un prototip. Amb això i la redacció de la memòria, es tancaria el punt i s'entregaria el projecte. Remarcar que la memòria no es limitant per la *Quality-Gate*.

## 5.2 Recerca d'informació

Llavors, seguint les nostres pautes imposades, la fase inicial contempla tota l'adquisició d'informació rellevant per tal de poder plantejar el projecte. Aquesta part, esta contemplada en els punts 3 i 4, i es on hem determinat quins elements calen per tal de fer viable el projecte, i quines tecnologies calen. Cal afegir-hi, tot el concepte del circuit per tal de poder aplicar tots els elements necessaris, en saber com haurem de realitzar les següents tasques, per tal de que puguem desenvolupar en base a una aplicació visible. Per a això, esquematitzem el circuit:

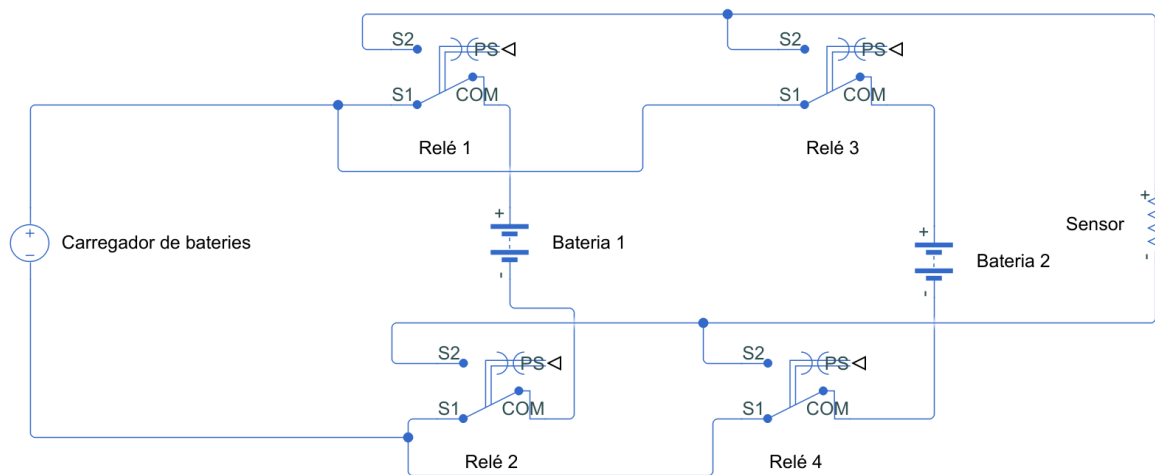


Figura 17. Esquema del circuit sobre el qual hem d'actuar.

Com es pot observar a la figura 17, el nostre sistema, de forma conceptual, pel carregador de bateries, 4 relés, 2 bateries i el sensor. El circuit funciona de la següent manera: La bateria pot estar alimentada o alimentant, en el primer cas, els relés estaran en la connexió S1. Això implica que els altres relés estaran alimentats, per tal de comunicar la bateria amb els ports S2, els quals porten a la bateria. En aquest circuit s'ometen elements com condensadors, ponts de díodes... que no formen part del projecte, però es té constància d'ells. Dintre d'aquest circuit, haurem d'incloure els nostres controladors, els quals alimentaran els ports PS dels relés.

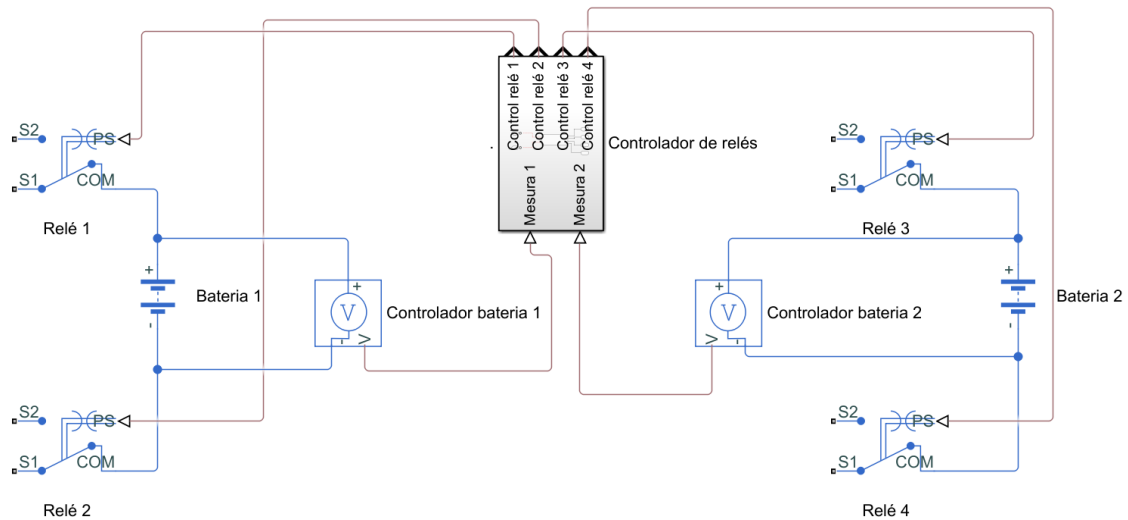


Figura 18. Circuit del nostre projecte. Aquí es on nosaltres realitzarem tot el procés de disseny i desenvolupament.

Tal i com podem veure a la figura 18, nosaltres tindrem dos conjunts controladors, dos de bateria i un de relés. Aquesta serà la nomenclatura que farem durant el projecte. El funcionament serà el següent: El control de la bateria, que s'alimenta de la mateixa, mesura valors de voltatge de la bateria. També voldrem mesura de corrent, que no s'observa, però inclouria situar-se en sèrie entre un relé i la bateria corresponent. Aquest controlador, enviarà la mesura al controlador de bateries. Aquest enviament, ha d'estar aïllat, degut a que el controlador estarà alimentat per la xarxa. Un cop el controlador ha rebut la mesura, decidirà si ha d'activar els relés o no. Sempre ha d'haver dos relés activats, siguin el 1 i 2, o el 3 i 4. Cada controlador correspondrà a una PCB diferent, amb el mateix nom; relés o bateria.

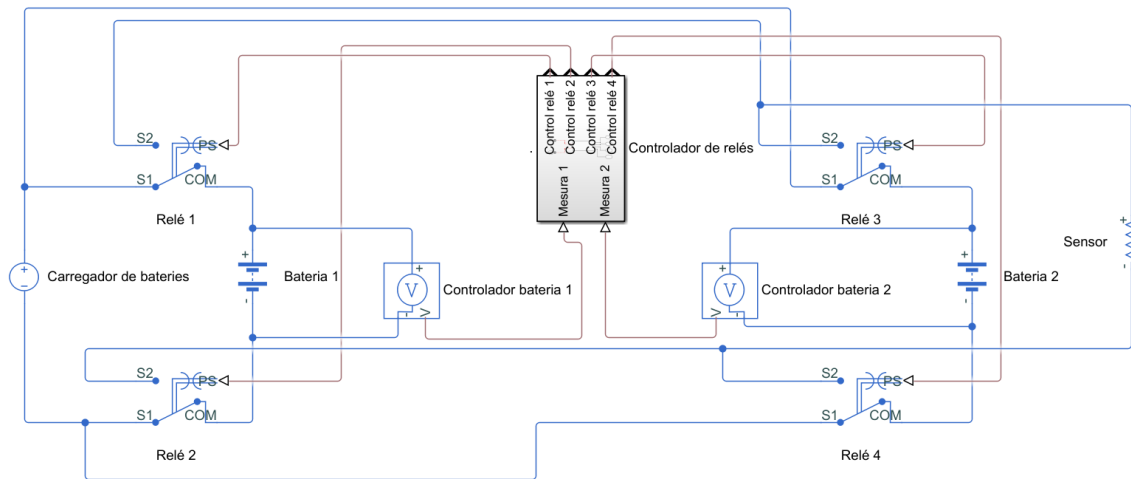


Figura 19. Circuit complet. Junta les figures 17 i 18.

Això en permet tancar la primera *Quality-Gate*: Ja tenim tota la informació per avançar.

### 5.3 Selecció i adquisició de components

Amb els elements designats, prosseguirem amb l'obtenció dels elements. Això, ho realitzarem en dos parts, la primera, on designarem els mètodes d'obtenció dels elements bàsics, i la segona, on es farà el mateix per elements extra. Remarcar que els elements com resistències o condensador no entren, degut a que són elements comuns i fàcils d'obtenir dintre de la universitat. Tampoc s'inclou la PCB, ja que entra en una altra *Quality-Gate*

Així, definint per la funcionalitat de cada PCB, tenim clar quin comportament ha de tenir i quines tasques ha de complir, llavors, determinem el següent material per les PCB de control de la bateria. Val la pena recordar que s'haurà de duplicar la quantitat degut a que estarem amb dues bateries.

Controlador: Necessitem un element que controli i gestioni les dades, i la forma més assequible de fer-ho, es mitjançant una placa Arduino. Com s'ha mencionat prèviament, es farà servir una Arduino Nano Every per cost i tamany.

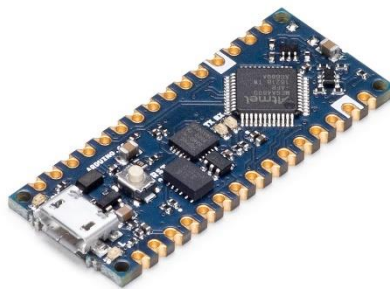


Figura 20. Controlador Arduino Nano Every. Sense pins de soldadura (Font: Arduino)

ADC//Sensor de Voltatge: Cal el ADC, per tal de poder adaptar totes les mesures a un valor llegible, pel nostre controlador. En aquest cas, s'opta pel ADS1115, el qual té comunicació I2C, compatible amb l'Arduino Nano Every, i pot rebre fins a dues senyals diferents. La doble funció del ADS1115 es degut a que, com el ADC mesura voltatges, ens serveix directament com a sensor de voltatge.[17]

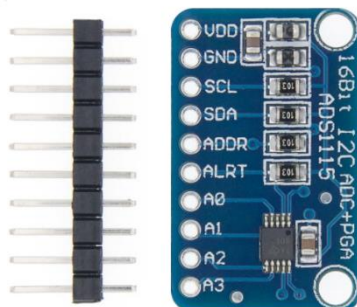


Figura 21. ADC ADS1115 amb pins de soldadura (Font: Aliexpress)

Transmissor Òptic: Es farà servir un HFBR-1414MZ, de AVAGO, degut a que són els existents al laboratori de forma més accessible, i compatibles amb la tecnologia ST. En aquest cas, ha de ser un Transmissor, un TX.



Figura 22. Emisor HFBR-1414MZ

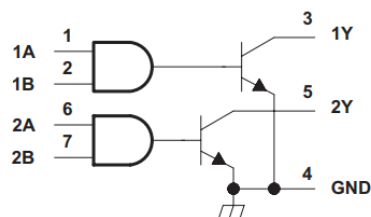
Convertidor DC/DC: Per tal de poder alimentar l'Arduino i altres elements, es necessari poder establir el voltatge que rep. Això es degut a que es molt sensible a variacions de voltatge. Per això, requerirem un convertidor DC/DC que ens converteixi el valor de la bateria, 12 o 24, a 5V. També es tindrà en compte el valor de la intensitat. Per tal d'assegurar que no hauria problemes amb l'alimentació, seria idoni tenir un DC/DC amb 1A. Disponible al laboratori es troba la versió amb corrent de sortida de 500mA. Tenint en compte els corrents màxims dels elements, hauria de ser suficient. Aquest convertidor correspon al Traco Power TSR 0.5. [18], [19]





Figura 23. Convertidor DC/DC TSR 0.5. (Font: Traco Power)

Porta lògica AND: Per alimentar el HFBR-2416Z, marcat a la fitxa de dades, es recomana l'ús d'una porta AND. Es farà servir una SN55451BJG.



Copyright © 2016 Texas Instruments Incorporated

Figura 24. Circuit del SN55451BJG (Font: Texas Instruments)

Amb aquests elements, es tanquen els elements bàsics a obtenir per tal de tenir la funcionalitat bàsica; Tenim alimentació tant per l'Arduino com pel ADC, podem controlar el voltatge que tinguem de la bateria, podem gestionar amb el controlador les dades que rebem del ADC, i podem transmetre les dades que requerim amb el connector òptic.

Tots aquests elements són els prioritaris per tal d'obtenir de forma ràpida, ja que garanteixen la funcionalitat bàsica del prototip.

Addicionalment, de forma afegida, també es vol per la PCB de bateria el següent:

Sensor de corrent: Es valora també l'obtenció del corrent de la bateria, i per això ens cal un sensor de corrent, aquest anirà directament al ADC. Utilitzarem el ACS758KKCB-150B-PFFB-T.



Figura 25. Sensor ACS758KKCB-150B-PFFB-T. Soldat a una petita placa.

Un cop tenim tots els elements de la bateria, ara toca valorar tots els elements que tindrem a la placa dels relés.

Controlador: Necessitem un element de control per les senyals i els relés rebuts, i com s'ha esmentat prèviament, un que tingui dos ports serials com es el Cas de l'Arduino Mega.



Figura 26. Arduino Mega

Convertidor DC/DC: La funcionalitat d'aquest es la mateixa que en la PCB de bateries, i es degut a que necessitem una alimentació per tots aquells elements que necessiten 5V estables, i s'utilitzarà el mateix TSR 0.5. que la figura 23

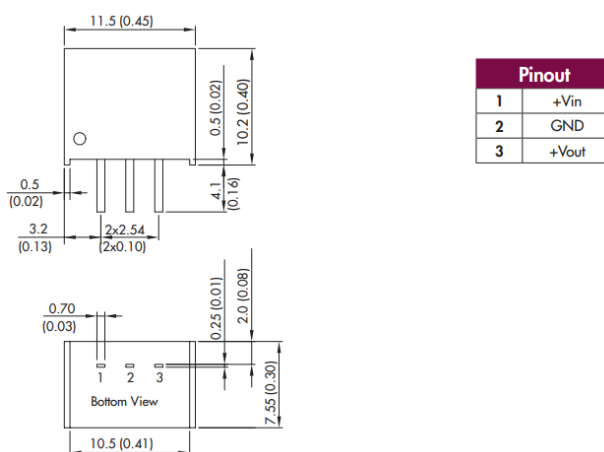


Figura 27. Dimensions i pins de sortida d'un convertidor DC/DC Traco Power TSR0.5. (Font: Traco Power)

Receptor òptic: Per tal de poder rebre les connexions òptiques, necessitem un receptor que pugui reconvertir-los en senyals elèctriques, i alhora sigui compatible amb la tecnologia ST, per a això, farem ús dels HFBR-2416Z.



Figura 28. Receptor HFBR-2416Z

Relés: La connexió i desconexió de bateries es fa mitjançant relés, i per això, necessitem un total de 4 relés que estiguin als borns de les bateries. La forma més assequible i senzilla que poden tenir aquests relés són els relés de 4 canals SRD-05VDC-SL-C, els quals agrupen directament 4 relés en un únic component, i tenen, per corrent continu, capacitat fins a 10A i 30V. Aquests valors són suficients per la utilitat desitjada. Té l'avantatge que pot ser alimentat directament per l'Arduino.[20][21]

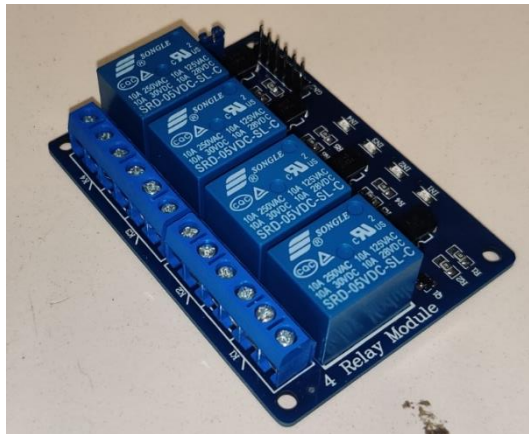


Figura 29. Mòdul de 4 relés SRD-05VDC-SL-C

Amb aquests elements, acaben els mínims per garantir la funcionalitat bàsica de la PCB de control de relés. De forma afegida, s'afegiran els següents components a aquesta placa:

Mòdul SD: Per tal de portar un registre sobre la salut de les bateries, s'instal·la un mòdul SD que permeti a qualsevol persona que utilitzi o manipuli el sistema, poder observar el registre de dades que vulguem sobre bateries, com pot ser el voltatge, per tal de determinar la salut i saber si caldria substituir-la. Per a aquesta tasca, es farà servir un mòdul micro SD.[22]

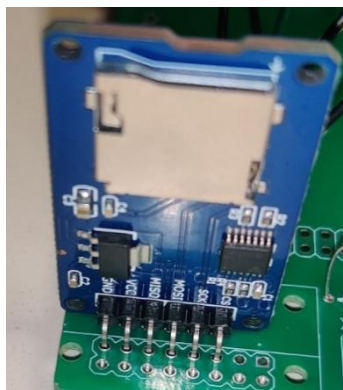


Figura 30. Mòdul Micro SD instal·lat a una PCB

Mòdul RTC: De forma complementaria al mòdul SD, incloem un mòdul RTC (Real-Time-Clock) que ens permet donar informació extra sobre la data de cada mesura, i poder donar més profunditat a qualsevol valoració que sigui necessària. Alhora, s'escull el mòdul DS3231 degut a que conté una pila que permet seguir alimentat encara que hagi qualsevol problema d'alimentació.[23]



Figura 31. Mòdul RTC DS3231

Amb això, completem el total d'elements rellevants que cal obtenir per la PCB de control de relés. Cal afegir també, que es necessari el cablejat òptic per connectar els emissors i transmissors. Per a això, es farà amb cablejat ST, com l'observat al punt 3.4, compatible amb els nostres components.

De forma resumida, tenim el següent:

Taula 3 Nombre de components

Component	Quantitat total	Caràcter	Origen
Arduino Nano Every	2	Obligat	Compra
ADS1115	2	Obligat	Compra
HFBR-1414MZ	2	Obligat	Dessoldadura
TSR 0.5	3	Obligat	Laboratori
SN55451BJG	2	Obligat	Dessoldadura
ACS758KKCB-150B-PFFB-T	2	Opcional	Compra
Arduino Mega	1	Obligat	Laboratori
HFBR-2416Z	2	Obligat	Dessoldadura
SRD-05VDC-SL-C	1	Obligat	Compra
Mòdul SD	1	Opcional	Compra
DS3231	1	Opcional	Compra

Tots els elements que no tenim, i s'han d'adquirir, entren dintre de la classificació de compra; si els tenim al laboratori de forma individual, estan dintre de la classificació laboratori, i si estan dintre del laboratori però s'ha de fer dessoldadura d'altres projectes, entren a dessoldadura.

Un cop designats tots els elements, podem passar la *Quality-Gate*.

## 5.4 Programació dels components i testeig de funcionament

Prosseguint amb el projecte, i amb els elements obtinguts, es realitzarà el codi individualment per cada component que ho necessiti, i finalment, la unió de tot el codi dintre de la respectiva Arduino. Són necessaris dos codis, un per l'Arduino Nano Every, igual en els dos casos, i un altre per l'Arduino Mega.

Per tal de portar a terme la programació, farem servir Arduino IDE, aquest funciona de forma en que tenim dues zones de codi, el *setup*, el qual s'executa un únic cop, al inici, i el *loop*, el qual s'executa repetidament. També es pot incloure codi abans de *setup*, el qual també s'executarà un cop.

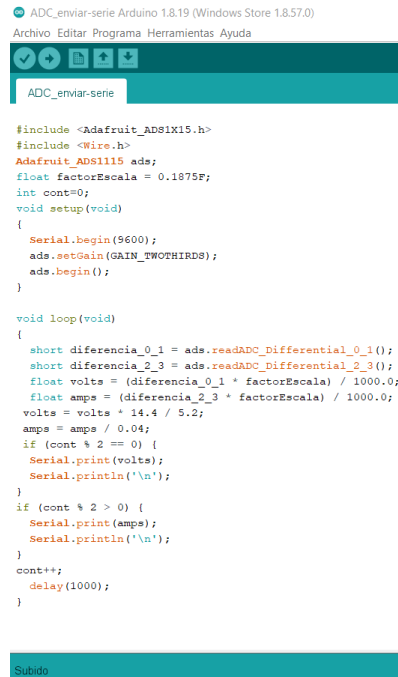
```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

Figura 32. Distribució de codi Arduino. Així es distribueix un codi a Arduino IDE, *setup* a la part superior, i *loop* a la inferior.

Tots els codis seran compilats per comprovar errors, i pujats a l'Arduino per testejar. En cas que sigui possible, s'utilitzarà el monitor sèrie incorporat per observar el funcionament. No en tots els casos es pot veure el resultat de la programació des de el monitor, llavors es farà una validació visual.[24]

### 5.4.1 Arduino Nano Every

Dintre d'aquesta Arduino, tenim inclòs la programació necessària per tal de manipular el nostre ADC. Aquest serà l'únic component, i el codi estarà basat en enviar aquesta informació pel port sèrie. El codi es el següent:[25]



```
ADC_enviar-serie Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

ADC_enviar-serie

#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Wire.h>
Adafruit_ADS1115 ads;
float factorEscala = 0.1875F;
int cont=0;
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);
  ads.begin();
}

void loop(void)
{
  short diferencia_0_1 = ads.readADC_Differential_0_1();
  short diferencia_2_3 = ads.readADC_Differential_2_3();
  float volts = (diferencia_0_1 * factorEscala) / 1000.0;
  float amps = (diferencia_2_3 * factorEscala) / 1000.0;
  volts = volts * 14.4 / 5.2;
  amps = amps / 0.04;
  if (cont % 2 == 0) {
    Serial.print(volts);
    Serial.println('\n');
  }
  if (cont % 2 > 0) {
    Serial.print(amps);
    Serial.println('\n');
  }
  cont++;
  delay(1000);
}
```

Figura 33. Codi compilat i pujat sense error a Arduino IDE

Les llibreries necessàries per tal de fer funcionar el ADC i la comunicació I2C, respectivament

```
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <Wire.h>
```

Es crea un objecte del tipus ADS1115

```
Adafruit_ADS1115 ads;
```

El ADC pot agafar diferents factors d'escala (valors per volt) i diferents límits. Per defecte es té un valor de referència de 6.144V i un factor d'escala de 0.1875mV. /

```
float factorEscala = 0.1875F;
```

Creem una variable per seguir el numero de cops s'ha fet el loop.

```
int cont=0;
```

```
void setup(void)
```

```
{
```

S'inicia la comunicació serial amb 9600 bauds

```
  Serial.begin(9600);
```

Factor de escala establert per al ADC

```
  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);
```

Iniciar el ADS1115, si no reacciona, no passa d'aquest punt

```
  ads.begin();
```

```
}
```

```
void loop(void)
```

```
{
```

Obtenir el diferencial dels pins A1-A0 i A3-A2

```
  short diferencia_0_1 = ads.readADC_Differential_0_1();
```

```
short diferencia_2_3 = ads.readADC_Differential_2_3();
```

Convertir a volts i ampers amb el factor d'escala

```
float volts = (diferencia_0_1 * factorEscala) / 1000.0;
float amps = (diferencia_2_3 * factorEscala) / 1000.0;
```

Aquí s'escalen els valors, el voltatge, esta en base al màxim ideat, 14.4V, segons una Li-FePo4, i 5.2 Volts es el valor que ens resulta al divisor de tensions. Es fa una regla de tres per observar on es situa el valor mesurat. Per l'amperatge, es fa l'escala de 1A, equival a 40mV.

```
volts = volts * 14.4 / 5.2;
amps = amps / 0.04;
```

Es treuen els valors de cada pel monitor sèrie. S'envia un valor per cada loop, segons el valor de la variable cont. Si es divisible entre 2 sense residu, volts, si no ho es, amps.

```
if (cont % 2 == 0) {
  Serial.print(volts);
  Serial.println('\n');
}
if (cont % 2 > 0) {
  Serial.print(amps);
  Serial.println('\n');
}
}
```

Augmentem el valor de la variable cont per tal de canviar l'element a enviar.  
cont++;

S'aplica un delay d'un segon, per tal de poder observar el procés.  
delay(1000);  
}

La connexió està realitzada de la següent forma:[17]

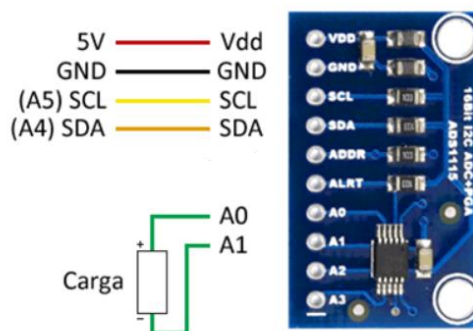


Figura 34. Connexió del ADC. A5 i a4 a la Arduino Nano Every i a la bateria de prova a A0 i A1, alimentació depèn del disseny. (Font: Adafruit)

Si fem servir aquest codi amb els ports de 5V de l'Arduino connectada al A1 la massa i A0 born de 5V, com es el cas de la PCB, realitzant les connexions directament amb cablejat, el resultat que podem observar pel monitor sèrie correspon al següent:

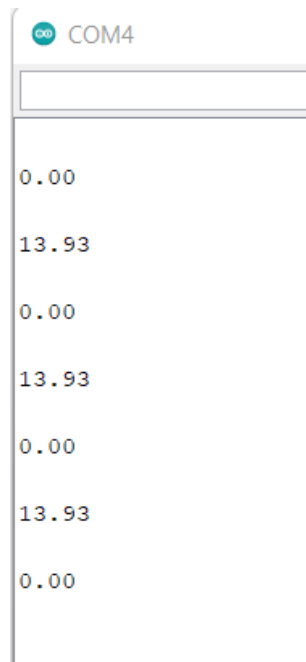


Figura 35. Resultats obtinguts pel monitor sèrie.

Podem observar que el valor que rebem, no es un valor de 5 volts, això es degut al escalatge que es fa per la bateria. Per tal de saber si això es correcte, apliquem la regla de tres inversa.

$$13.93 \cdot \frac{5.2}{14.4} = 5.03V$$

Podem observar que el valor es molt pròxim als 5 volts, amb un error molt petit, ho podem validar sense cap problema. Al no tenir connexió a A2 i A3, el valor de 0 es correcte.

#### 5.4.2 Arduino Mega

Per al cas de l'Arduino Mega, la quantitat de codi es molt mes elevada, llavors cal dividir en diferents grups la totalitat d'aquest. Dintre d'aquest, entra el mòdul SD, el mòdul RTC, els relés, i la incorporació de LEDs per millorar la transmissió d'informació visual.[26]

Iniciem el codi amb el següent:



```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Arduino_relay$
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>

RTC_DS3231 rtc;
File datalog;
int inici=0;

float volt1;
float amp1;
float volt2;
float amp2;
float input1;
float input2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(48, OUTPUT);
  pinMode(49, OUTPUT);
  pinMode(43, OUTPUT);
  pinMode(42, OUTPUT);
  pinMode(45, OUTPUT);
  pinMode(44, OUTPUT);

  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

```

Figura 36. Primera part del codi. Es veu el codi de setup i el codi previ.

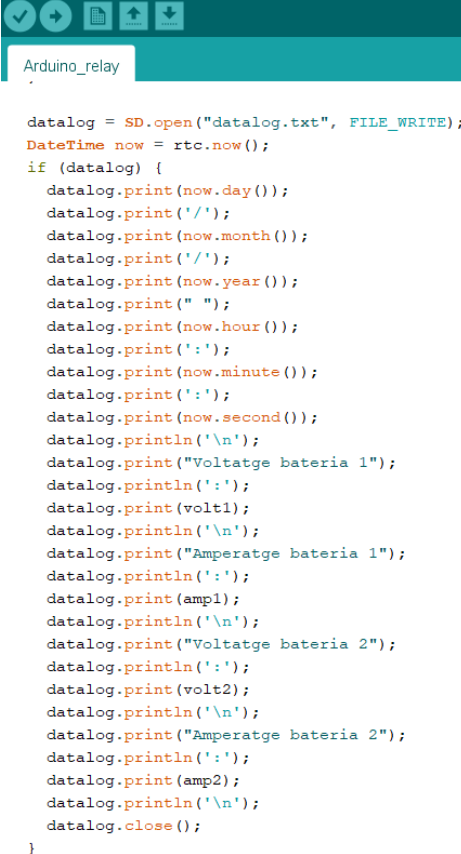
```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Arduino_relay
void loop()
{
  // Guardar les dades
  if (Serial.available() > 0)
  {
    input1 = Serial.parseFloat(SKIP_ALL, '\n');
    if (input1 > 11 and input1 < 14) {
      volt1 = input1;
    }
    if (input1 < 10 and input1 > -10 and input1 != 0) {
      amp1 = input1;
    }
  }

  if (Serial1.available() > 0) {
    input2 = Serial1.parseFloat();
    if (input2 < 10) {
      volt2 = input2;
    }
    if (input2 < 10 and input2 > -10 and input2 != 0) {
      amp2 = input2;
    }
  }
}

```

Figura 37. Segona part del codi. Correspondent al loop que recopila la informació dels ports serie




```
Arduino_relay

datalog = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
DateTime now = rtc.now();
if (datalog) {
  datalog.print(now.day());
  datalog.print('/');
  datalog.print(now.month());
  datalog.print('/');
  datalog.print(now.year());
  datalog.print(" ");
  datalog.print(now.hour());
  datalog.print(':');
  datalog.print(now.minute());
  datalog.print(':');
  datalog.print(now.second());
  datalog.println('\n');
  datalog.print("Voltatge bateria 1");
  datalog.println(':');
  datalog.print(volt1);
  datalog.println('\n');
  datalog.print("Amperatge bateria 1");
  datalog.println(':');
  datalog.print(amp1);
  datalog.println('\n');
  datalog.print("Voltatge bateria 2");
  datalog.println(':');
  datalog.print(volt2);
  datalog.println('\n');
  datalog.print("Amperatge bateria 2");
  datalog.println(':');
  datalog.print(amp2);
  datalog.println('\n');
  datalog.close();
}
```

Figura 38. Tercera part del codi. Corresponent a la informació guardada a la micro SD.

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



```

Arduino_relay$
    if( inici==0){
        digitalWrite(43, HIGH);
        digitalWrite(42, HIGH);
        digitalWrite(45, LOW);
        digitalWrite(44, LOW);
        //Leds
        digitalWrite(48, HIGH);
        digitalWrite(49, LOW);
        inici++;
    }
    if (volt2 < 12.5 ) {
        digitalWrite(43, HIGH);
        digitalWrite(42, HIGH);
        digitalWrite(45, LOW);
        digitalWrite(44, LOW);
        //Leds
        digitalWrite(48, HIGH);
        digitalWrite(49, LOW);
    }
    if (volt1 < 12.5 ) {
        digitalWrite(44, HIGH);
        digitalWrite(45, HIGH);
        digitalWrite(42, LOW);
        digitalWrite(43, LOW);
        //Leds
        digitalWrite(49, HIGH);
        digitalWrite(48, LOW);
    }
    }

    delay(1000);
}

```

Figura 39. Quarta part del codi. S'actua sobre els LEDs notificadors i els relés.

Per a aquest codi, es necessari incloure una llibreria per a la SD, la SD.h i SPI.h; una per I2C, Wire.h; i una pel RTC, el RTCLib.h

```

#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>

```

Creem un objecte RTC de tipus DS3231 per poder manipular

```
RTC_DS3231 rtc;
```

Creem un objecte de tipus SD

```
File datalog;
```

Aquesta variable es una variable d'inici que veurem més endavant

```
int inici = 0;
```

Declarem les següents variables que són les encarregades d'emmagatzemar els valors que rebem pels ports serials.

```
float volt1;
float amp1;
float volt2;
float amp2;
float input1;
float input2;
```

```
void setup() {
```

Iniciem la comunicació serial amb els mateixos bauds que l'altre Arduino

```
Serial.begin(9600);
```

Declarem tots els pins que són necessaris pel programa

```
pinMode(48, OUTPUT);
pinMode(49, OUTPUT);
pinMode(43, OUTPUT);
pinMode(42, OUTPUT);
pinMode(45, OUTPUT);
pinMode(44, OUTPUT);
```

Ajustem la data de l'objecte rtc amb la data que el codi es compila per primer cop

```
rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
void loop()
{
```

Per guardar les dades, es crea un condicional el qual, sempre i quan hagi un element al buffer del port serial corresponent, es llegeixi aquesta entrada fins al intro que s'afegeix. Aquesta entrada es guarda a la variable corresponent, input1 al port serial 0, i input2 al port serial 1. Segons el valor d'aquesta variable, es considera voltatge o amperatge. Degut a que no hauríem de tenir voltatge inferior a 11 ni superiors a 14, un input1 o input2 entre aquests valors correspon a voltatge. Si el valor esta entre -10 i 10, sense incloure el 0, correspon a intensitat. El valor pot ser negatiu degut a que es carreguen les bateries.

```
if (Serial.available() > 0)
{
input1 = Serial.parseFloat(SKIP_ALL, '\n');
if (input1 > 11 and input1 < 14) {
volt1 = input1;
}
if (input1<10 and input1> -10 and input1 != 0) {
amp1 = input1;
}
}
if (Serial1.available() > 0) {
input2 = Serial1.parseFloat(SKIP_ALL, '\n');
if (input2 < 10) {
volt2 = input2;
}
if (input2<10 and input2> -10 and input2 != 0) {
amp2 = input2;
}
}
}
```



Obrim per l'objecte datalog, un arxiu .txt i l'habilitem per escriure

```
datalog = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
```

Igualem la hora del rtc a la hora actual

```
DateTime now = rtc.now();
```

Si l'arxiu datalog esta obert, afegim els valors de data i el voltatge i amperatge obtinguts prèviament.

```
if (datalog) {  
  datalog.print(now.day());  
  datalog.print('/');  
  datalog.print(now.month());  
  datalog.print('/');  
  datalog.print(now.year());  
  datalog.print(" ");  
  datalog.print(now.hour());  
  datalog.print(':');  
  datalog.print(now.minute());  
  datalog.print(':');  
  datalog.print(now.second());  
  datalog.println('\n');  
  datalog.print("Voltatge bateria 1");  
  datalog.println(':');  
  datalog.print(volt1);  
  datalog.println('\n');  
  datalog.print("Amperatge bateria 1");  
  datalog.println(':');  
  datalog.print(amp1);  
  datalog.println('\n');  
  datalog.print("Voltatge bateria 2");  
  datalog.println(':');  
  datalog.print(volt2);  
  datalog.println('\n');  
  datalog.print("Amperatge bateria 2");  
  datalog.println(':');  
  datalog.print(amp2);  
  datalog.println('\n');  
  datalog.close();  
}
```

Per iniciar el cas amb una bateria, ja que ambdues teòricament estan al 100%, es fa iniciar una bateria, encenent el pin D48 i obrint els grounds 45 i 44. Tal i com funcionen els relés, quan un pin esta en low, significa que el contacte normalment obert del relé es connecta. Es canvia el valor de inici a 1 per no tenir més aquesta condició.

```
if ( inici == 0) {  
  digitalWrite(43, HIGH);  
  digitalWrite(42, HIGH);  
  digitalWrite(45, LOW);  
  digitalWrite(44, LOW);  
  digitalWrite(48, HIGH);  
  digitalWrite(49, LOW);  
  inici++;  
}
```

Per tal de saber quan s'ha de realitzar el canvi de relés, es farà una condició la qual, un cop el voltatge caigui per sota d'un valor, 12.5 en aquest cas, es faci un canvi de relé i de LED.

```

if (volt2 < 12.5 ) {
  digitalWrite(43, HIGH);
  digitalWrite(42, HIGH);
  digitalWrite(45, LOW);
  digitalWrite(44, LOW);
  digitalWrite(48, HIGH);
  digitalWrite(49, LOW);
}
if (volt1 < 12.5 ) {
  digitalWrite(44, HIGH);
  digitalWrite(45, HIGH);
  digitalWrite(42, LOW);
  digitalWrite(43, LOW);
  digitalWrite(49, HIGH);
  digitalWrite(48, LOW);
}

```

Apliquem un delay per tornar a repetir el codi

```

delay(1000);

```

```

}

```

El valor de 12.5 Volts, ha sigut estriat agafant com a exemple la taula d'una bateria LiFePo<sub>4</sub>. Com podem veure a la imatge 35, els valors de salut comencem a empitjorar partir dels 12.5 Volts. [27], [28] De forma afegida, es podria afegir un canvi de relé quan la bateria tingués un voltatge superior a 13.3 Volts, però caldria un estudi més extens de les bateries. Per tal de intentar no descarregar en excés la bateria i preservar lleugerament més la salut, es manté el valor mínim de 12.5 únicament.

Voltage (v)	Capacity (ah %)	Battery safe?
14.4	100%	NO
13.6	100%	NO
13.4	99%	NO
13.3	90%	YES
13.2	70%	YES
13.1	40%	YES
13	30%	YES
12.9	20%	YES
12.8	17%	YES
12.5	14%	YES
12	9%	NO
10	0%	NO

Figura 40. Valors de voltatge d'una bateria de LiFePo<sub>4</sub>. Es pot comparar el voltatge que té la bateria, amb el seu estat de càrrega i quan saludable es aquell valor. (Font: Wikimedia)

Per tal de validar aquest cas, necessitem observar l'arxiu datalog on afegim la nostra informació, i visualment, la il·luminació dels LEDs. Per a aquesta prova, s'ha connectat el mateix codi de l'Arduino Nano Every, en una Arduino Uno, i aquesta s'ha connectat a la Arduino Mega. S'ha fet servir la Arduino Uno degut a problemes desconeguts a l'hora de comunicar amb la Arduino Mega, a partir del punt 5.6, les proves seran amb aquest model. Hem pogut rebre el següent:

```

datalog: Bloc de notas
Archivo Editar Formato Ver Ayuda
19/11/2021 19:19:58
Voltatge bateria 1:13.93
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
19/11/2021 19:19:59
Voltatge bateria 1:13.93
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
19/11/2021 19:20:00
Voltatge bateria 1:13.93
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
19/11/2021 19:20:01
Voltatge bateria 1:13.93
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
19/11/2021 19:20:02
Voltatge bateria 1:13.93
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
19/11/2021 19:20:03

```

Figura 41. Contingut de l'arxiu datalog. Podem veure el valor que obteníem amb l'Arduino Nano Every, i també es pot veure el funcionament del RTC amb la hora de compilació. Podem veure com el valor correspon.

Visualment, podem veure la il·luminació en els relés:



Figura 42. Situació dels relés. Els veuen correctament encesos.

Com podem comprovar, els relés s'encenen en dos casos, llavors, si bé no hi ha la mostra del LED individual, podem veure que tenim un estat de funcionament. Com el valor de

voltatge no varia, només observem un estat, aquest però, correcte. Amb això, podem tancar la *Quality-Gate*.

## 5.5 Disseny i desenvolupament de la PCB

En paral·lel al punt previ, 5.4, tenim el desenvolupament d'una PCB, que ens permeti poder incorporar tots els elements designats, i poder tenir connexions entre aquests de forma compacta. Per tal de crear aquesta placa, es farà ús del programari Autodesk EAGLE.

Aquest programa funciona de forma que, crees un esquema de les connexions del sistema que vols representar, *schematic* com es diu, i aquest es permet crear una distribució dintre del que serà la PCB, que s'anomena *board*.

Dintre del *schematic*, necessitem incorporar tots els elements que tenim, en cas que no estiguin dintre de la llibreria interna del programari, cal introduir-lo de forma manual. Al estar treballant amb elements molt comuns dintre del món de Arduino, trobar-los es senzill. Aquest arxius necessaris són els mòduls SD, RTC, els relés, i els controladors Arduino. Per tant, per afegir-los, cal incloure aquesta llibreria trobades a la web, dintre de la nostra llibreria pròpia.[29]

Name	Description
Libraries	
libraries	User Libraries
▶ arduino (...)	Arduino Boards
▶ arduino ...	Arduino Boards
▶ arduino.lbr	Arduino Boards
▶ ArduinoN...	
▶ diy-modul...	DIY Modules for Ar...
▶ PROPIS.lbr	
▶ Managed Libr...	

Figura 43. Llibreria incloses. S'hi veuen diferents Arduinos i diy-moduls, on s'hi inclouen dissenys de mòduls diferents.

Tal i com succeeix amb el codi programat, aquí també tindrem dos casos, un pel controlador de la bateria, i l'altra pel dels relés. Iniciarem el cas amb el que menys components té, per tal de poder simplificar el procés de disseny.

### 5.5.1 Arduino Nano Every

Per tal de poder organitzar aquesta PCB, cal llistar tots els components necessaris que haurem d'incloure un a un. En aquest cas, a part dels elements bàsics de programació, comprovarem dintre de les fitxes de dades dels components, quines necessitats d'elements perifèrics necessiten, com condensadors o resistències, per tal de poder-los contemplar. Remarcar que en aquest cas, el valor d'aquests es superflu degut a que aquests s'incorporaran durant la soldadura, al punt 5.6.



A part, tenim els emissors òptics, HFBR, els quals han sigut incorporats com a grup, es a dir, tots els components han sigut incorporats d'un altre projecte, en el qual el seu funcionament era correcte i un procés similar al actual. Per això, aquests estaran agrupats com a un únic element. La distinció entre els components d'aquest grup, es realitzarà a soldadura, degut a que no es necessari la instal·lació de tots els components associats.

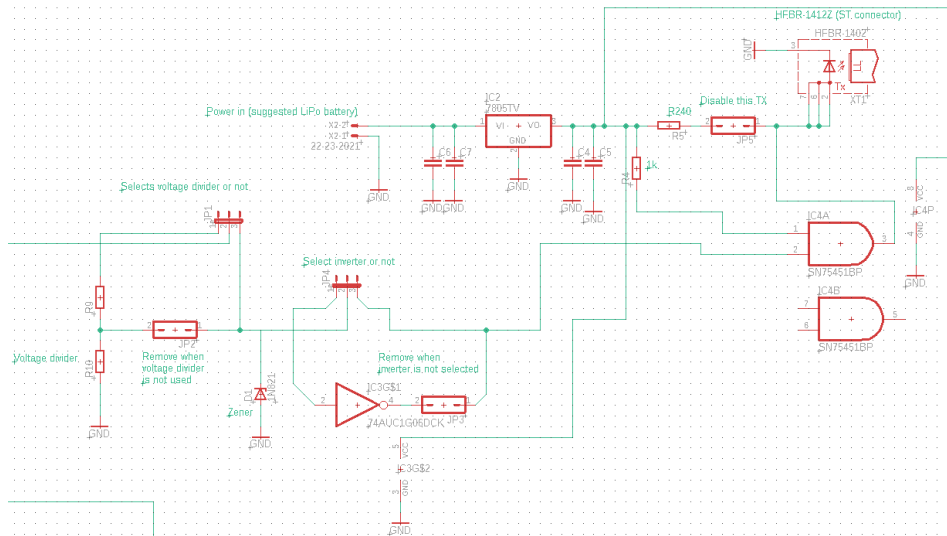


Figura 44. Conjunt de l'emissor òptic. Te tres entrades, alimentació, massa i data.

Així, els elements que requereixen d'uns components perifèrics son:

Taula 4 Components perifèrics a la PCB de bateria

Component	Necessitat	Raó
AD1115	2 Resistències	Divisor de tensió
TSR 0.5	2 Condensadors	Fitxa de dades
ACS758KKCB-150B-PFFB-T	1 Resistència 1 condensador	Filtre

Amb això, podem incloure els components necessaris al nostre *schematic*.

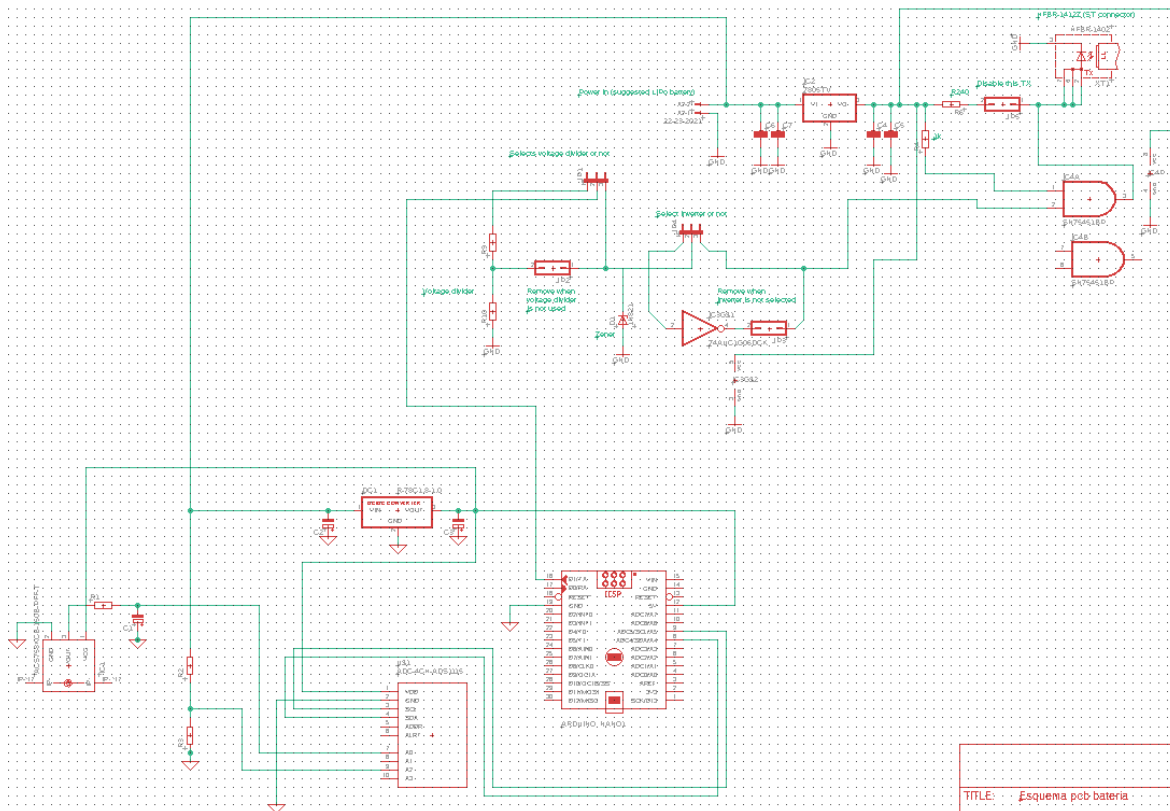


Figura 45. Schematic corresponent al controlador de la bateria.

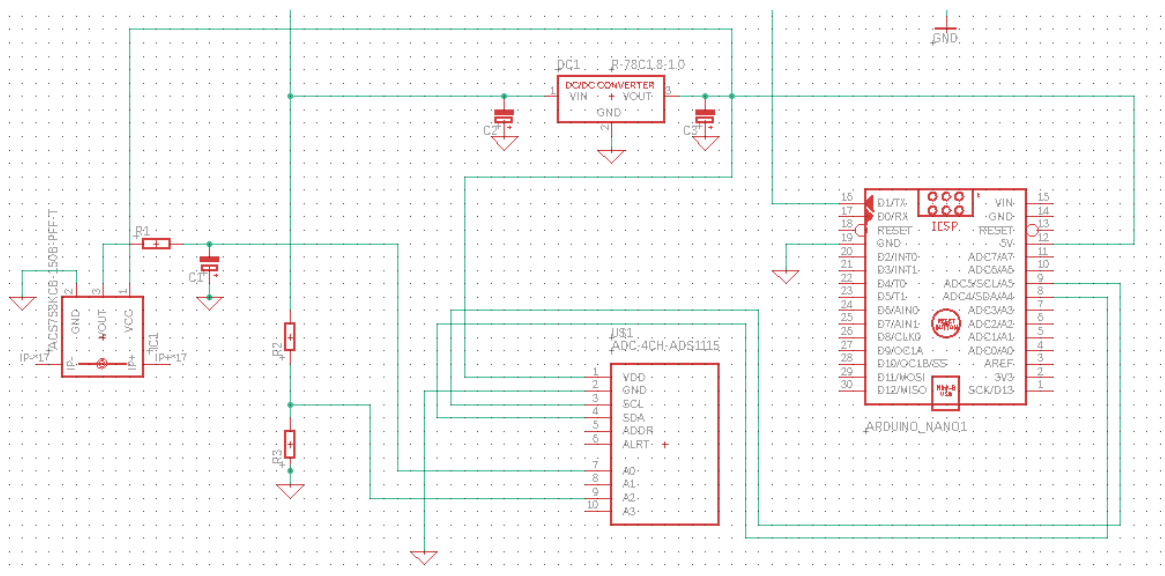


Figura 46. Schematic de la resta de components de la figura 44 Part inferior del global

Per explicar el funcionament de les connexions, s'anirà individualment per cada component i s'indicarà on va cada pin. El components perifèrics de la taula anterior, no tenen pin definit, per tant la connexió s'escriu directament a un altre component, com per exemple el divisor de tensions

Taula 5 Connexions dintre de la PCB bateria.

Component	Pin connectat	Destí	Funció
HFBR	Alimentació	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	Data	D1 Arduino	Connexió UART
	Massa	Negatiu bateria	Massa
TSR 0.5	Alimentació	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	Sortida	HFBR, ACS758KKCB- 150B-PFFB-T, Arduino Nano Every, ADS1115	Alimentar amb 5V
	Massa	Negatiu bateria	Massa
ACS758KKCB-150B- PFFB-T	Alimentació	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	Data	A2 ADS1115	Mesura
	Massa	Negatiu bateria	Massa
Arduino Nano Every	5V	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	GND	Negatiu bateria	Massa
	D1	Data HFBR	Connexió UART
	A5	SCL ADC	SCL I2C
	A4	SDA ADC	SDA I2C
ADS1115	Vdd	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	GND	Negatiu bateria	Massa
	SCL	A5 Arduino	SCL I2C
	SDA	A4 Arduino	SDA I2C
	A0	Positiu Bateria	Mesura
	A1	Negatiu bateria	Massa
	A2	Data ACS758	Mesura
	A3	Negatiu bateria	Massa

Així, únicament falta la *board*, per tal de poder organitzar la distribució i poder sol·licitar al fabricant.

La distribució que es planteja, ha de ser una col·locació lògica, degut a que tindrem elements que tindran algun tipus de cablejat extern, com pot ser els calbes de la bateria o la fibra òptica, llavors caldrà tenir en compte que aquests elements han de quedar a l'extrem de la PCB. A més a més, cal que el tamany no sigui superior a 100mmx100mm, degut a que el fabricant incrementa notablement el cost Amb aquestes condició, obrim el nostre *schematic a board*, un procés automàtic, i un cop repartim segon les condicions imposades, les connexions les realitza segons un cablejador automàtic, per tant, ens simplifica el procés. Ens resulta en el següent:

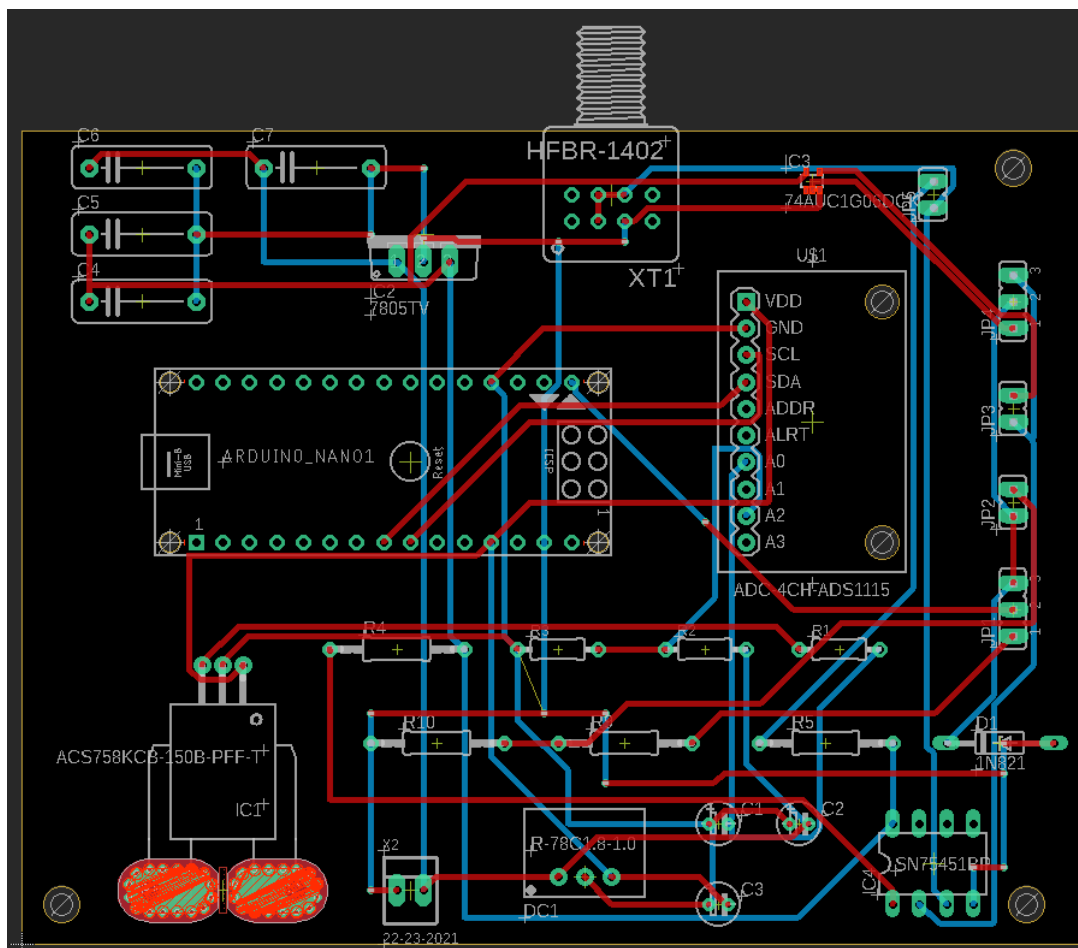


Figura 47. PCB resultat. En color vermell, les connexions de la capa superior, i en blau, la capa inferior.

Compleix totes les condicions imposades prèviament, llavors considerem aquesta PCB correcta.



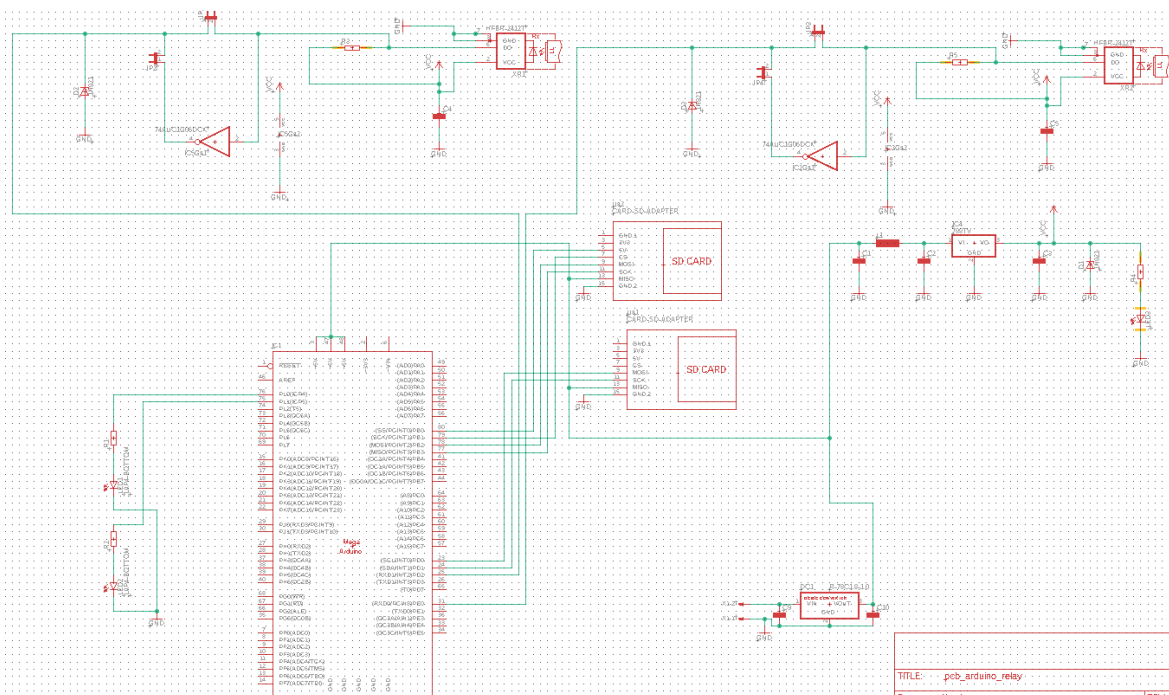


Figura 49. Schematic complet del controlador de relés

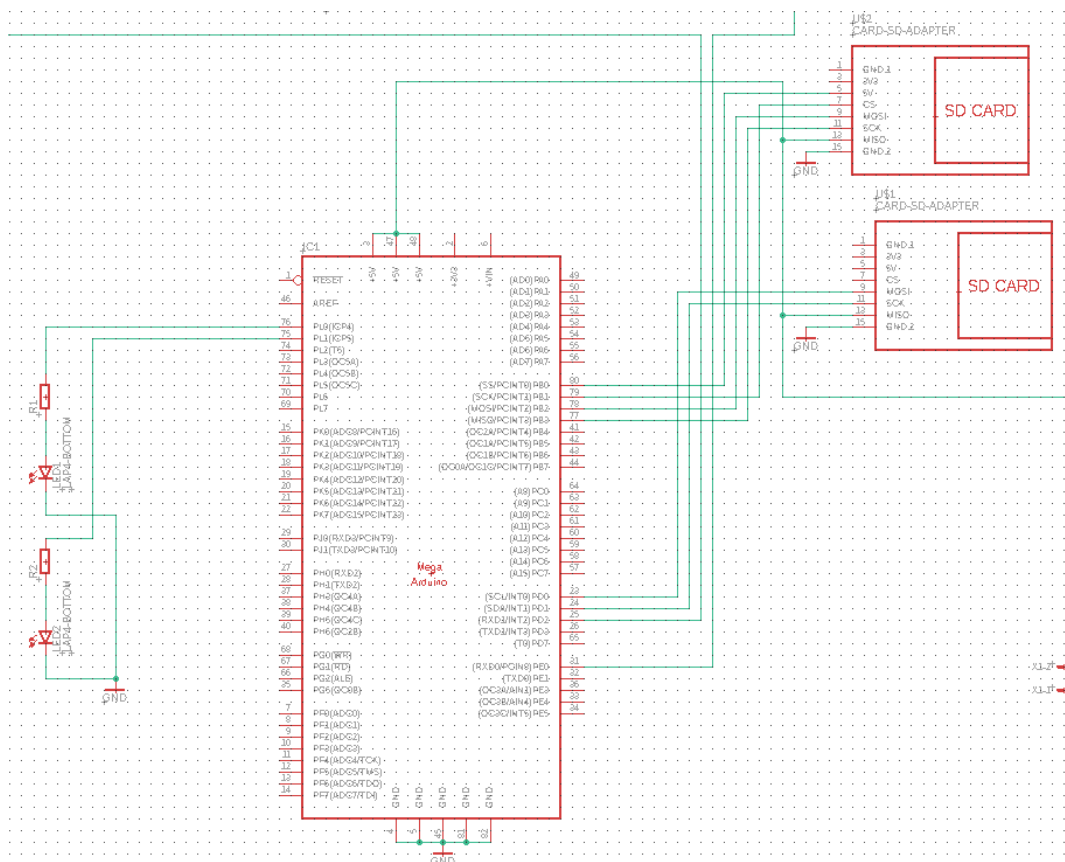


Figura 50. Part inferior del circuit. Engloba l'Arduino.

Es pot observar al *schematic* previ, que tenim dos mòduls SD, això es degut a problemes de compatibilitat en el moment d'introduir el mòdul RTC. Llavors, s'ha optat per un mòdul que tingui la mateixa distància entre pins, i col·locar les connexions de forma que ens permeti fer un símil. Es a dir, si bé podem veure SD al *schematic*, realment serà un mòdul RTC. Per tal de clarificar les connexions existents, tabularem aquests dintre d'una taula:

Taula 7 Connexions dintre de la PCB de relés

Component	Pin connectat	Destí	Funció
Arduino Mega	5V	Sortida TSR 05	Alimentació
	GND	Massa	Massa
	PB0	CS SD	CS
	PB1	SCK SD	SCK
	PB2	MOSI SD	MOSI
	PB3	MISO SD	MISO
	PD0	SCL RTC	SCL I2C
	PD1	SDA RTC	SDA I2C
	PD2	Data HFBR 1	RX
	PL0	LED 1	Sortida
	PL1	LED 2	Sortida
	PE0	Data HFBR 2	RX
TSR 0.5	Alimentació	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	Sortida	HFBR, Mòdul RTC, Arduino Mega, Mòdul SD,	Alimentar amb 5V
	Massa	Massa	Massa
HFBR 1	Alimentació	Massa	Alimentació
	Data	PD2 Arduino	Connexió UART
	Massa	Massa	Massa
HFBR 2	Alimentació	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	Data	PE0 Arduino	Connexió UART
	Massa	Massa	Massa
Mòdul SD	Vdd	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	GND	Massa	Massa
	MOSI	PB2 Arduino	MOSI
	MISO	PB3 Arduino	MISO
	CS	PB0 Arduino	CS

	SCK	PB1 Arduino	SCK
Mòdul RTC	Vdd	Sortida TSR 0.5	Alimentació
	GND	Massa	Massa
	SDA	PD0 Arduino	SDA I2C
	SCL	PD1 Arduino	SCL I2C

Amb les connexions definides, repetim el procés de conversió a *board* fet a l'apartat previ, amb els mateixos límits. En aquest cas, l'espai és més limitat i hem hagut de rescindir prèviament dels relés. La *board* resultant amb totes les connexions es la següent:

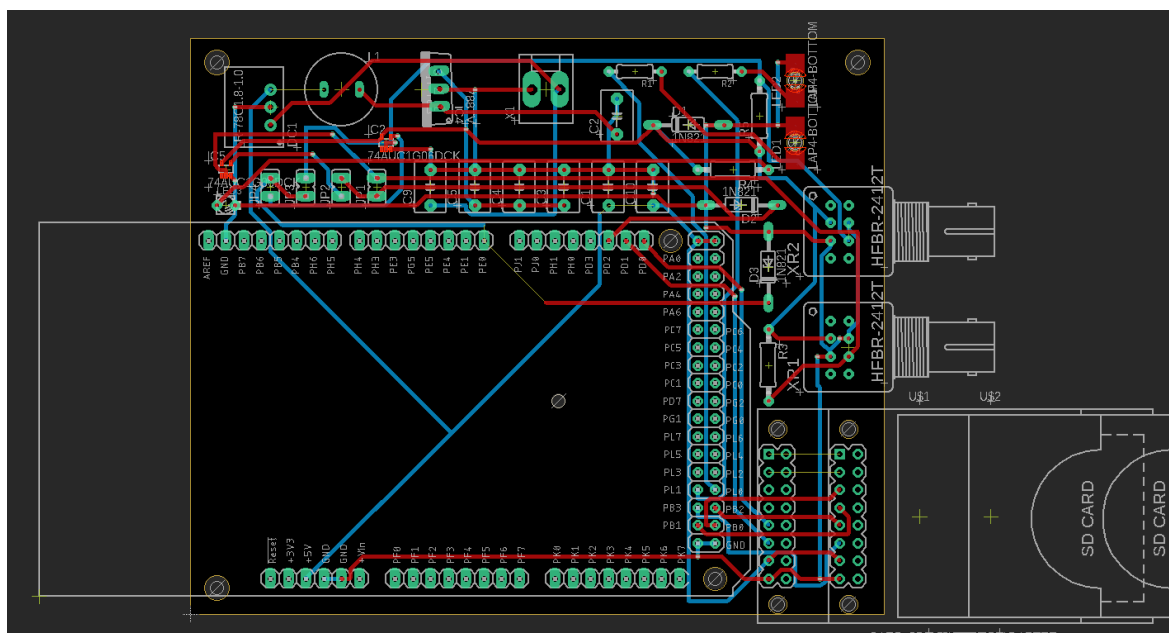


Figura 51. Board corresponent al controlador de relés. Els elements que sobresurten corresponen a trosos que sobresortiran a la soldadura, però tots els pins estan dintre de la placa.

Després d'una verificació a Seeedstudio podem comprovar que les dues plaques entren dintre dels límits. Per tal de demanar al fabricant la PCB, sol·licitarem les opcions més bàsiques per tal de poder reduir costos. Les opcions les podem veure a la il·lustració 48.[30]



▼ PCB Cost	USD\$4.90
Base Material	FR-4 TG130
No. of Layers	2 layers
PCB Dimensions	99mm * 82.2mm
PCB Quantity	10
No. of Different Designs	1
PCB Thickness	1.60mm
PCB Color	Green
Surface Finish	HASL
Minimum Solder Mask Dam	0.4mm†
Copper Weight	1oz.
Minimum Drill Hole Size	0.3mm
Trace Width / Spacing	6/6 mil
Plated Half-holes / Castellated Holes	No
Impedance Control	No

*Figura 52. Resultat informatiu de Seedstudio. Correspon a la PCB més gran, sent el pitjor cas. Hi veiem que no superem els 100mm x 100mm*

Amb les dues PCB definides, podem sol·licitar-les al fabricant, i podrem iniciar els processos pràctics un cop arribin a les nostres instal·lacions. Això ens permet tancar la *Quality-Gate*.

## 6 Desenvolupament pràctic del projecte

Un cop tenim tota la base sobre la qual podem desenvolupar el nostre projecte, podem iniciar el desenvolupament material del projecte.

### 6.1 Construcció del prototip

En aquest punt, ens toca poder posar a prova els elements individuals, per tal de poder confirmar si tota la informació realitzada prèviament es correcte, o quina modificació cal aplicar per tal d'arribar al punt que volem. Iniciarem les proves i soldadures seguint el procés que succeirà amb el voltatge: Serà mesurat pel ADC, per tant, es comprovarà com de correcte es el divisor de tensió; Aquest valor serà enviat a l'Arduino UNO, que haurà d'alimentar l'emissor òptic i s'haurà d'il·luminar; Un cop enviat el pols, s'haurà de llegir correctament per l'Arduino Mega. Amb això, podríem validar individualment i de forma general, el procés que succeirà un cop unim tots els components. [31]

De cara a soldadura, hi ha diversos problemes que van sorgint durant el procés, principalment de disseny de la PCB i d'espai.

En quant a l'espai, a la PCB de bateria, al haver d'incorporar l'Arduino Uno, no hi ha espai contemplat, per tant, s'haurà d'incorporar mitjançant cablejat soldat a la PCB. Alhora, hi ha

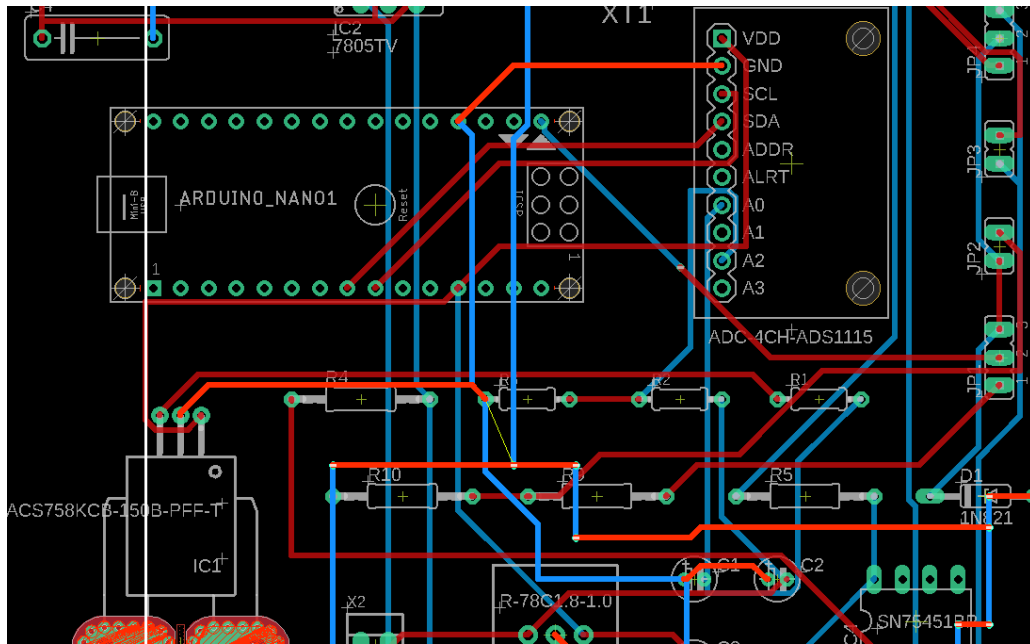


Figura 53. Error de massa. Es veuen en vermell i blau brillant les senyals de massa, pero si no fos per la línia groga, no estarien unides entre elles.

errors de disseny, en les masses, degut a que tenim dues masses diferents, s'ha de soldar un cable entre dos pins de les diferents masses. Alhora, s'hauran de connectar els pins A1 i A3 a una massa, degut a que aquests no estan connectats. Cal també connectar l'entrada d'alimentació del HFBR a la sortida del TSR0.5, ja que ara mateix tindria una entrada de 12V. No es necessari que tingui els 7805TV que apareixen al *schematic*.

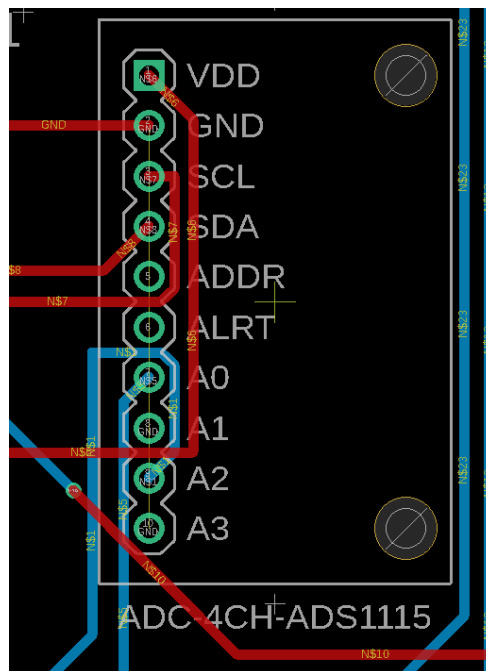
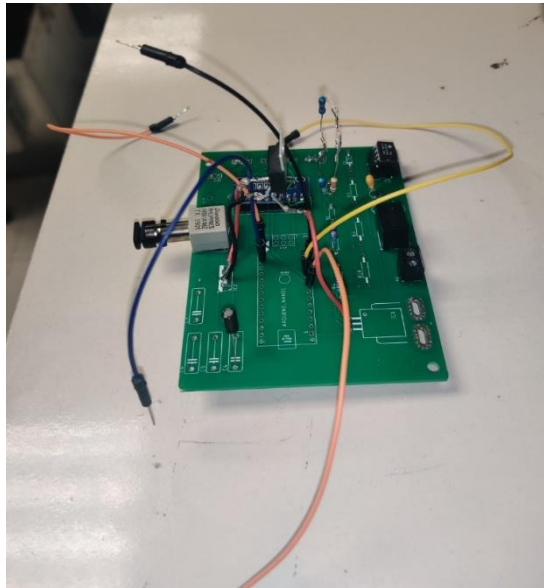


Figura 54. Error de ADC. Es coloca una senyal entre els pins A1, A3 i GND del ADC. Al software es veu per sobre de tots degut a que agafa la distància més curta, una línia recta.

Amb els següents errors pal·liats, el muntatge final resulta el següent:

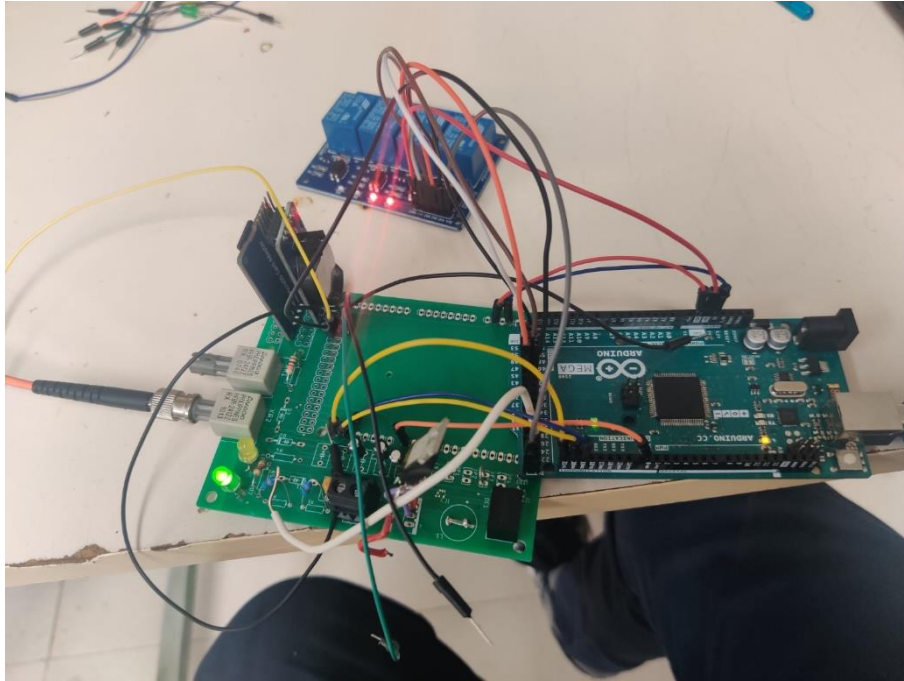


*Figura 55. Resultat de la soldadura mínima necessària per la PCB de bateria. Es pot observar els ponts entre A3, A1 i GND al ADC. Es simula amb una Arduino Uno, per això existeixen tots aquest entramat de cables. Es pot veure una elevació de la placa, això es degut a una connexió per connectar les dues línies de masses.*

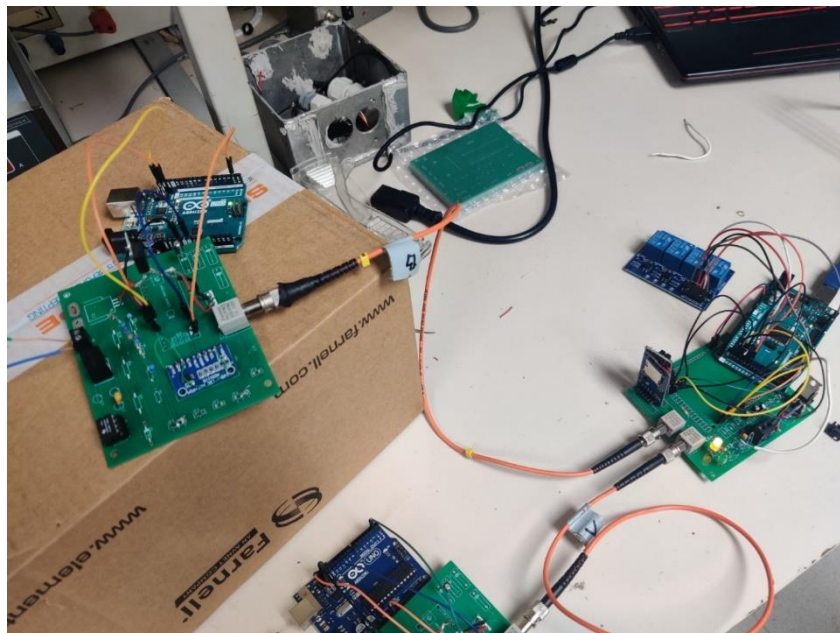
Per a la PCB de relés, els errors de disseny es troben en el regulador de tensió, el qual s'alimenta amb 5V, pel qual es desconnectarà el born, i s'inclourà un pont al voltatge de bateria. Per al cas pràctic, es realitza un pont d'alimentació directa de l'Arduino Mega. Els errors majoritàriament poden ser de soldadura, degut a que s'haurà d'incloure noves connexions directes entre l'Arduino Mega i la PCB.

En aquest cas, al alimentar la PCB de relés amb el voltatge de l'Arduino Mega pel testeig, no es necessari i es farà un pont, però de cara al disseny, i segons indica la fitxa de dades, necessita un valor de voltatge superior a 7V. Alternativament, es podria alimentar el HFBR directament del TSR0.5, degut a que aquest també estableix el corrent.

Cal afegir, amb un impacte reduït, un error de disseny amb el divisor de tensió que comentarem en el següent punt.



*Figura 56. PCB amb Arduino Mega i relés. Es poden observar alguns cables que no queden connectats, que es substitueixen pel cable blanc gruixut.*



*Figura 57. Instal·lació completa de totes les PCB amb totes les Arduino connectades.*

### 6.1.1 Mesura del ADC

Sabem que el valor a obtenir ha de ser 5V, per tal de no fer malbé el nostre ADC. Amb això i el voltatge mesurat, tenim el següent

$$5 = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot 14.4 \rightarrow \frac{R2}{R1 + R2} = 0.347$$

$$5 = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot 26 \rightarrow \frac{R2}{R1 + R2} = 0.192$$

Fem servir voltatge superiors degut a que són valors que aquests poden arribar a tenir. En ambdós casos, el valor que pot tenir R2 i R1 són infinits, llavors definirem un valor per a R2, que el definirem en 40kΩ, un valor elevat per un corrent reduït. Amb aquest valor, ens resulta que R1 té un valor de:

$$12V: R2 = 1.88R1 = 75.2k\Omega$$

$$24V: R2 = 4.21R1 = 168.4k\Omega$$

Per tal d'obtenir aquestes resistències, hem de fer una suma de diferents resistències. R2 es pot trobar com a resistència individual, però per obtenir 75.2kΩ, es realitzarà una suma de 75kΩ i 200Ω. En ambdós casos tenint un 1% màxim d'error, que ens deixa amb possibles 74448Ω de valor mínim, i 75952Ω de valor màxim. El mateix 1% pels 40kΩ amb un rang de 39.6kΩ a 40.4kΩ.

Amb això, podem realitzar el primer test, validar si el divisor de tensions funciona correctament, per a això, posarem diversos valors, i observarem el rang que podem obtenir

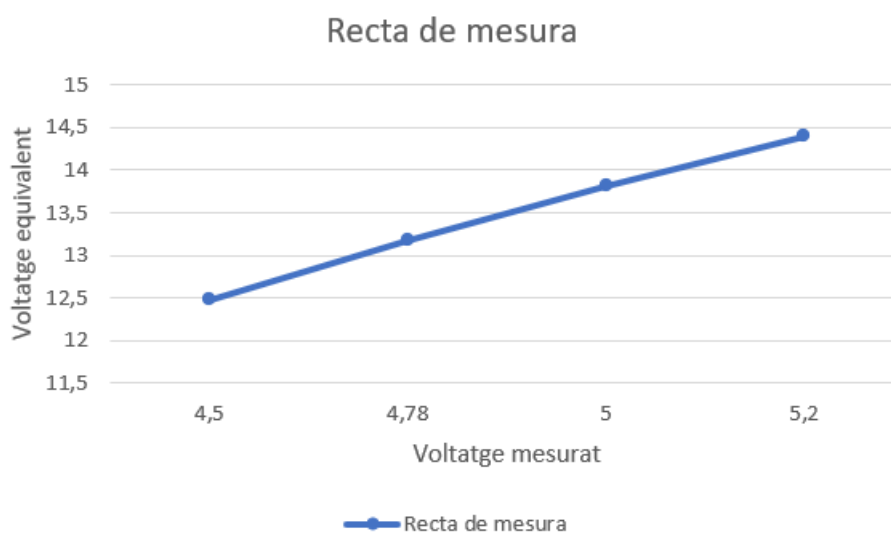


Figura 58. Mesura d'alimentació. El nostre sistema sotmés a un voltatge de 14.37V. Arrodonim a 14.4V



Figura 59. Mesura al divisor de tensió. Valor obtingut al col·locar el voltímetre al node del divisor de tensió i a massa.

El valor observable de 5.2V es una bona aproximació, i la diferència molt probablement es deguda a la soldadura de les resistències entre si, les desviacions que tenen cada resistència de fàbrica, en el nostre cas un 2%; i els possibles decimals que hi ha durant l'operació. Tot i així, voldrem testejar en diferents punts el valor del divisor de tensió.



Gràfic 1. Valors teòrics al circuit. S'han pres 4 mesures al divisor de tensions, per tal de poder aproximar a una recta. No és una recta perfecta, però s'hi aproxima.

Podem observar que pel valor màxim que tenim previst, 14.4V, el valor que el ADC ha de llegir entra dintre del marge que aquest pot llegir, [-5.3, 5.3], i baixem dels 12.5, que a priori en cap moment hauria de baixar més, pel codi que hem programat, però el considerem.

Amb això podem observar que les mesures del ADC es realitzaran amb el rang correcte.



Tal i com hem comentat en el punt previ, hi ha una discrepància amb les resistències: Com es pot comprovar en imatges, el divisor de tensió esta compost per 3 resistències, això es degut a que, en un cas inicial, es plantejava per un voltatge de 13.8V, corresponent a un valor lleugerament superior als saludables, però no es considerava que aquest valor pot arribar fins als 14.4V, per tant, s'ha hagut de reescalar en base a aquest valor. Tots els resultats a partir d'aquest punt, estan fets amb una resistència de 70530Ω.

### 6.1.2 Emissió de dades

Per tal de poder comprovar si hi ha una reacció entre l'Arduino UNO i el ADC, cal comprovar si hi ha una emissió. Degut a que vam fer servir al codi la ordre `ads.begin()`, ens permet comprovar si, en el cas que no tenim cap sortida lumínica, si el ADS1115 s'ha iniciat, ja que el codi no avançarà en cas que hagi algun tipus d'error amb aquest. Si alimentem el HFBR, observem com tenim senyals lumíniques, que ens permet validar que la instal·lació es aparentment correcta.



*Figura 60. Mostra òptica. Instant on s'observa sortida lumínica del HFBR.*

### 6.1.3 Recepció de dades

Per tal de confirmar si les entrades són rebudes correctament de l'Arduino Uno, únicament podem obtenir una comprovació mitjançant la reacció que tindrem amb el mòdul SD. Per a això, situarem la bateria en el pitjor cas, corresponent als 14.4V, per tal de poder veure quin valor es llegit. Per a aquest test, únicament connectem una entrada a cada moment.

```

datalog: Bloc de notas
Archivo Editar Formato Ver Ayuda
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:23:23
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:23:24
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:25:15
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:14.34
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:25:16
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:14.34
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:25:17
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:14.34
Amperatge bateria 2:0.00
21/12/2021 17:25:18
Voltatge bateria 1:14.34
Amperatge bateria 1:0.00

```

Figura 61. Situació del document datalog quan es connecten els dos pots UART.

En aquest cas, al no canviar el valor de la font d'alimentació, el valor no canvia entre les bateries. El valor es segueix mantenint a la bateria 1 degut a que, com l'entrada val 0 per aquell port sèrie, no entra dintre de la variable de voltatge de la bateria 1. Podem veure que, si bé la nostra consigna era de 14.4V, observem 14.34V a la sortida. El motiu més probable d'això són defectes de soldadura, que deu fer que el 5.2V que hem llegit amb el multímetre, junt amb l'arrodoniment de la mesura de 14.4V dels 14.37V mesurats, sigui lleugerament més baix al ADC, per tant llegeix un valor inferior al corresponent. També s'inclou possible error en la lectura en el multímetre. El error però, es el següent:

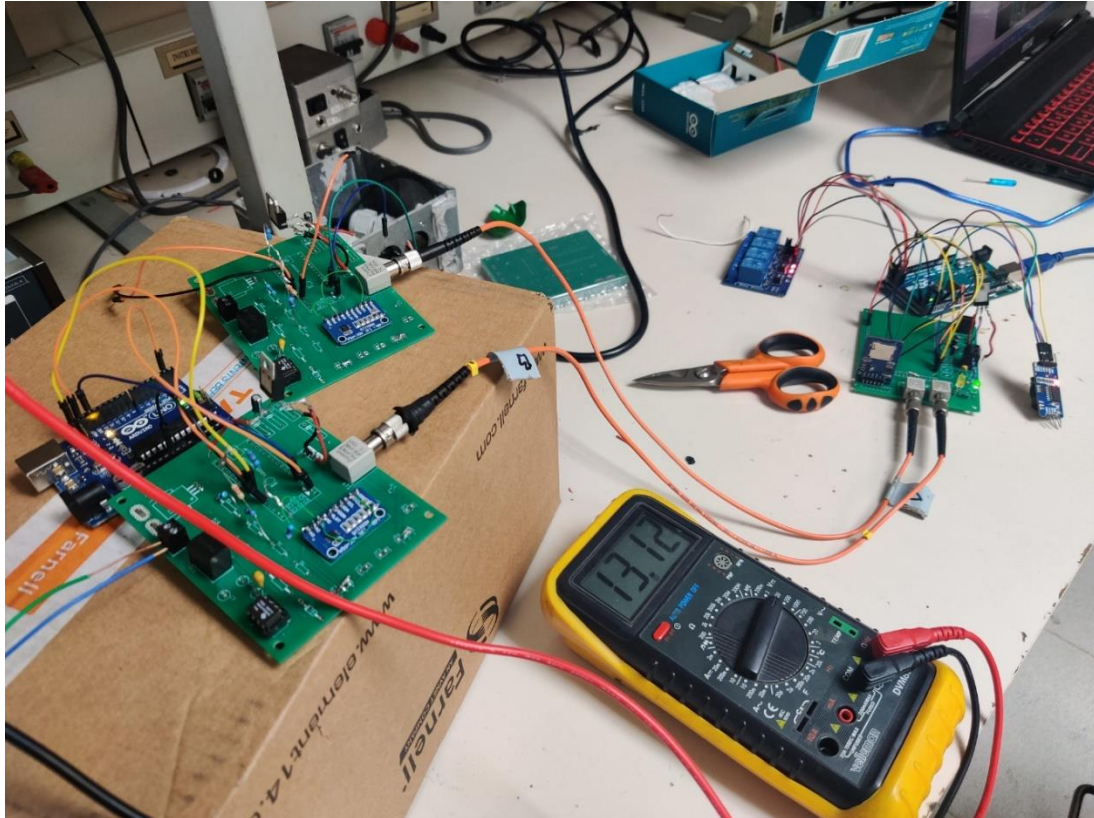
$$\frac{14.4 - 14.34}{14.4} = 4.16 \cdot 10^{-3}$$

Un error molt baix i totalment acceptable. Això ens permet poder validar la funcionalitat individual del projecte físic, poden tancar la *Quality-Gate*.

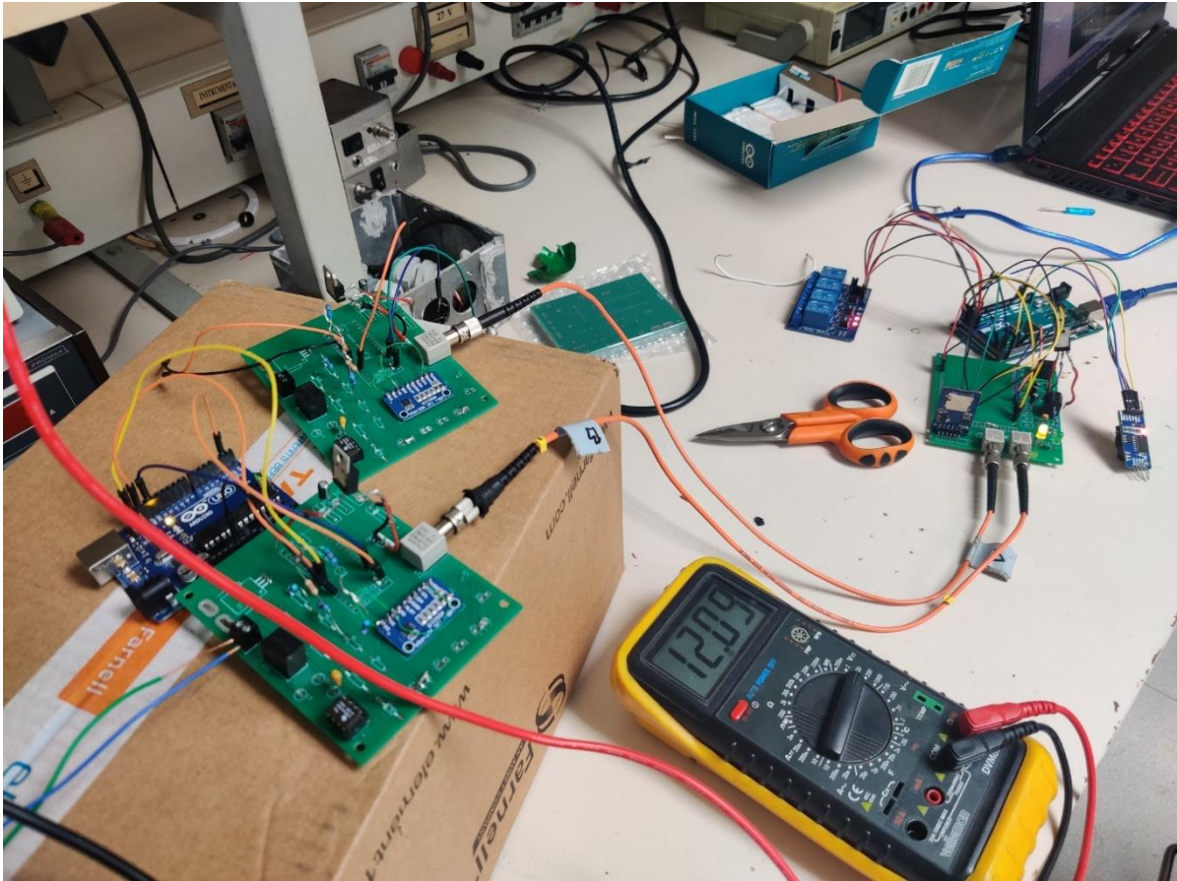


## 6.2 Testeig del prototip

Un cop verificat la funcionalitat del nostre projecte, cal comprovar el funcionament que tindrà amb una font d'alimentació, que permet que el valor d'entrada variï. Per tal de poder simular però, hi haurà dos incisos. Durant les fases de testeig, una de les PCB no s'ha pogut fer funcionar, llavors únicament es farà servir una entrada simultàniament. Això, implica que succeirà un cas similar a la prova del punt 5.6.3.: Només variarem una variable, llavors el canvi d'estat succeirà quan aquesta variable disminueixi dels 12.5V imposats.



*Figura 62. Test superior a 12.5V. Cas observable per un valor per sobre de 12.5. S'observen els dos relés de la dreta connectats i el LED verd encés*



*Figura 63. Test inferior a 12.5V. Cas observable per un valor per sota de 12.5V, on els relés s'han canviat i ara el LED encés correspon al groc.*

Per comprovacions visuals, podem observar que els canvis de relés i il·luminació corresponen als desitjats. A part, tenim la verificació de la SD. Dintre del document datalog podem trobar el següent:

```

datalog: Bloc de notas
Archivo Editar Formato Ver Ayuda
22/12/2021 17:45:38
Voltatge bateria 1:13.06
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
22/12/2021 17:45:39
Voltatge bateria 1:13.06
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
22/12/2021 17:45:40
Voltatge bateria 1:13.06
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
22/12/2021 17:45:41
Voltatge bateria 1:12.35
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
22/12/2021 17:45:42
Voltatge bateria 1:12.03
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00
22/12/2021 17:45:43
Voltatge bateria 1:12.03
Amperatge bateria 1:0.00
Voltatge bateria 2:0.00
Amperatge bateria 2:0.00

```

Figura 64. Registre de valors. Totalitat dels resultats mesurats durant el test de prova realitzada.

Amb això, el canvi es realitza d'una bateria a una altra, però al només tenir un element connectat, no podem introduir noves variables a les altres, però podem extrapolar el funcionament correcte en aquest cas, a l'entrada de l'altra port UART.

Com s'ha mencionat prèviament, el conjunt de resistències amb el qual s'ha mesurat, no correspon al divisor que permet els 14.4V. Això però, no afecta als resultats obtinguts, ja que s'han emprat valors per sota dels llindars màxim d'ambdós casos, i el canvi de bateria per valor de voltatge simplement es faria en un altre valor del ADC.

Amb això, podem validar el nostre sistema, i tancant aquesta *Quality-Gate*, que contemplava el funcionament del sistema, podem donar per conclosa la part pràctica del nostre treball.

## 7 Resum del pressupost i estudi de viabilitat econòmica

Tal i com podem comprovar en el document adjunt de pressupost, tenim contemplat la mà d'obra necessària per tal de poder desenvolupar el projecte, més el cost del material.

De forma resumida, tenim el següent cost:

*Taula 8 Costs associats al projecte.*

Tipus de cost	Cost(€)
Mà d'obra	160
Material	1716.01
Total	1876.01

Podem veure doncs, que per al nostre projecte, el cost és elevat. Si be però, molts components, com soldadors o fonts d'alimentació, es molt probable que ja estigui disponibles a les instal·lacions, llavors es poder restar aquests costos. Si únicament es conta el material pràctic, el producte te un cos força competitiu. Cal tenir en compte, que del sistema total, no estan incloses bateries, carregadors, o sensors, que poden augmentar el cost de la instal·lació total.

## 8 Conclusions

Els objectius d'aquest projecte era la capacitat de transmissió de dades per alternatives que no generin soroll, i desenvolupar aquesta tecnologia per tal de poder tenir una aplicació pràctica tant fidedigna a la idea com sigui possible. Com a objectiu pràctic, es pretenia tenir un prototip que ens permetés posar a prova aquest tipus d'aïllament elèctric, fent ús de impulsos externs de cas real com potser el voltatge.

Durant el transcurs del treball, s'ha indagat sobre les tecnologies existents d'aïllament elèctric, s'ha desenvolupat un codi al voltant de la funcionalitat real pel qual es veuria sotmès el prototip, s'ha dissenyat tota l'estructura de la PCB en base a la funcionalitat designada i se l'ha sotmès a testeig per poder comprovar el funcionament del sistema. Tot això ha obligat a obtenir uns coneixements en tot el procés, començant per programar elements, passant per creació de plaques fins a ús de divers equipament de laboratori.

Finalment, el nostre prototip, ha complert les expectatives d'ús que preteníem, el qual inclou la reacció a l'impuls de voltatge. Si bé hi ha diversos problemes, majoritàriament de soldadura i disseny, s'ha pogut observar, en un cas extrapolable, la reacció que té el nostre prototip a un decrement de voltatge, tal i com succeiria a l'aplicació real.

Aquest prototip, però, no es perfecte, i com a tal, necessita que existeixin futures millores per tal de poder garantir un flux d'informació correcte cap al futur, permetent que l'aplicació sigui correcte. Tal i com hem trobat en el punt 5.6, existeixen alguns problemes en el disseny, que impliquen que la funcionalitat no es correcta. Per tant, apliquem les següents correccions al schematic:

Correcció de massa

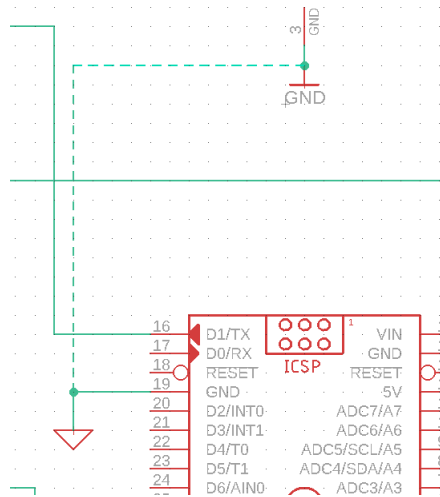


Figura 65. Solució d'error a massa. Degut a l'ús de dos icones de massa diferent, es van crear dos línies de massa diferents, es connecten entre elles per fer una massa única. S'observa en línia discontinua la nova connexió.

Correcció de masses al ADC:

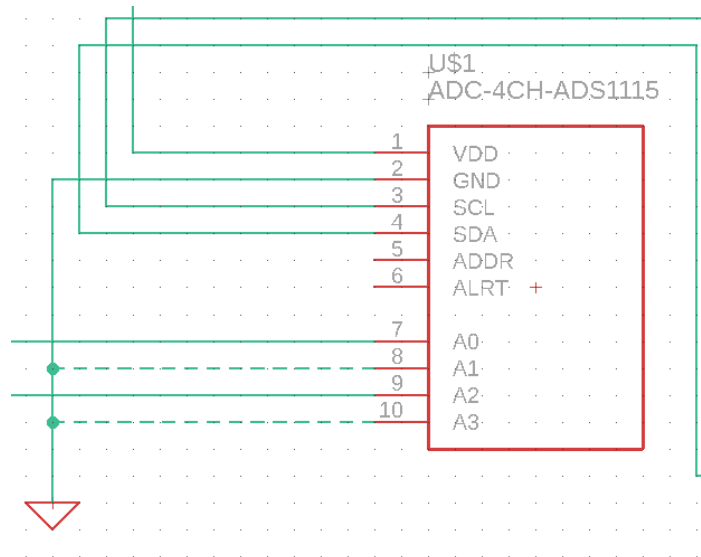


Figura 66. Solució d'error a ADC. S'han afegit les masses mancants als pin A1 i A3, corresponent a les línies discontinues.



Correcció de l'alimentació del receptor òptic:

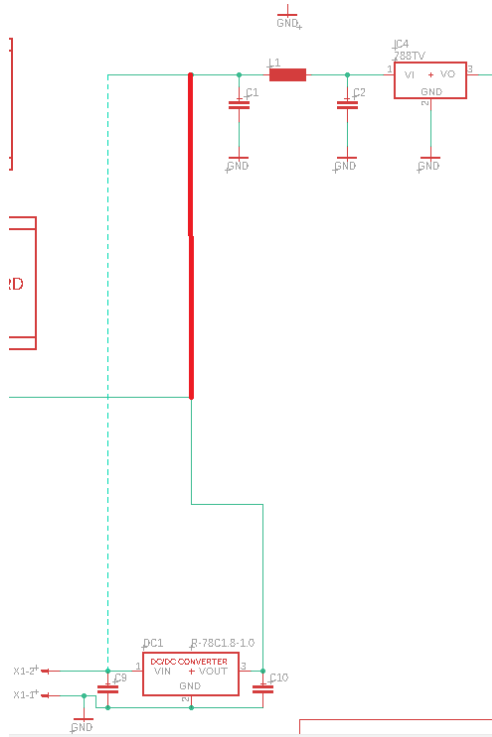


Figura 67. Solució d'alimentació al receptor òptic. Prèviament s'alimentava el regulador de voltatge del receptor òptic a la sortida del TSR0.5, i degut a que aquest necessita un valor de voltatge de 7V, s'alimentarà de voltatge d'entrada. En vermell, cable eliminat. Aquest error no afectava al sistema degut que l'Arduino Mega estava directament connectada.

També cal incloure defectes de soldadura, els quals poden estar associats tan al material com a l'experiència del soldador. La millora en la soldadura pot facilitar la solució d'errors.

Un cop hem adreçat els errors, afegim diverses opcions de millora, que si bé no tenen perquè ser necessàries, cal futures proves per determinar si son compatibles amb la funcionalitat desitjada.

Primerament, caldria considerar el tamany de les PCB, per tal de poder allotjar els components de forma còmoda: En el cas del controlador de la bateria, es podria utilitzar un Arduino Nano, per tal de comprovar el funcionament del sistema amb el mateix tamany de PCB, degut a que l'Arduino Nano i l'Arduino Nano Every tenen el mateix tamany i distribució de pins. En cas que no fos funcional, es podria buscar d'adaptar l'Arduino Uno a la PCB. Únicament caldria valorar on es troben els pins respecte a la situació actual.

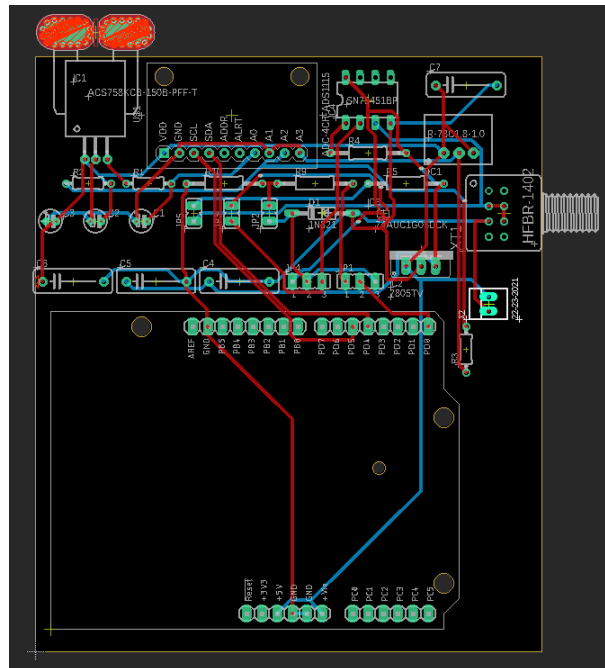


Figura 68. Board amb una Arduino Uno.

La placa dels relés, on hi trobem l'Arduino Mega, hauria d'augmentar en tamany, per tal de poder acomodar sense problemes tots els components. Això però, incrementa el cost degut a que amb la distribució actual, estem a 1mm del marge del fabricant.

Caldria valorar, segons les aplicacions en les quals es vol aplicar aquest projecte, es poden incorporar altres millores com relés de buit, o una pantalla per informar del voltatge de forma visual, sense accedir a la tarja SD. També seria una opció vàlida, incorporar una alimentació directa de 5V per a la placa de relés. Amb la instal·lació actual, si es vol tenir na alimentació de 5V, s'ha d'alimentar l'Arduino Mega, la qual te un corrent màxim de 150mA, amb 40mA per pin, [32] motiu pel qual, si es volgués afegir material, no es pot garantir la seguretat d'aquesta.

## 9 Referències i Bibliografia

- [1] "Aislar altos voltajes en automatización industrial | DigiKey." <https://www.digikey.es/es/articles/how-to-isolate-high-voltages-industrial-robotic-systems> (accessed Oct. 10, 2021).
- [2] V. T. A. C. R. CONSTANTINOS I. VOTIS, GIORGOS TATSIS, VASILIS CHRISTOFILAKIS, SPYRIDON K. CHRONOPOULOS , PANOS KOSTARAKIS, "A NEW PORTABLE ELF SCHUMANN RESONANCE RECEIVER: DESIGN AND DETAILED ANALYSIS OF THE ANTENNA AND THE ANALOG FRONT-END," J.

- Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2018:155, 2018.
- [3] A. Kulak *et al.*, "Extremely low frequency electromagnetic field measurements at the Hylaty station and methodology of signal analysis," *Radio Sci.*, vol. 49, no. 6, pp. 361–370, 2014, doi: 10.1002/2014RS005400.
  - [4] Aldis, "Current Measurement." [https://www.aldis.at/EN/LIGHTNING-RESEARCH/LIGHTNING-RESEARCH-AT-GAISBERG/CURRENT-MEASUREMENT/?ADMCMND\\_VIEW=408](https://www.aldis.at/EN/LIGHTNING-RESEARCH/LIGHTNING-RESEARCH-AT-GAISBERG/CURRENT-MEASUREMENT/?ADMCMND_VIEW=408).
  - [5] "Fusion PCB Manufacturing & Prototype PCB Assembly - Seeed Studio." [https://www.seeedstudio.com/fusion\\_pcb.html](https://www.seeedstudio.com/fusion_pcb.html) (accessed Oct. 18, 2021).
  - [6] "EAGLE | PCB Design And Electrical Schematic Software | Autodesk." <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview> (accessed Oct. 25, 2021).
  - [7] "HFBR-2412T pdf, HFBR-2412T description, HFBR-2412T datasheets, HFBR-2412T view ::: ALLDATASHEET :::." <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/112110/HP/HFBR-2412T.html> (accessed Oct. 25, 2021).
  - [8] "HFBR-14xxZ and HFBR-24xxZ Series Low-Cost, 820 nm Miniature Link Fiber Optic Components with ST, SMA, SC, and FC Ports Data Sheet."
  - [9] "Qué es UART | Rohde & Schwarz." [https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/osciloscopios/educational-content/que-es-uart\\_254524.html](https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/osciloscopios/educational-content/que-es-uart_254524.html) (accessed Oct. 29, 2021).
  - [10] "El bus SPI en Arduino." <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/> (accessed Nov. 02, 2021).
  - [11] "SPI simplifica la comunicación con dispositivos | DigiKey." <https://www.digikey.es/es/articles/why-how-to-use-serial-peripheral-interface-simplify-connections-between-multiple-devices> (accessed Nov. 02, 2021).
  - [12] "Opto-electrical isolation of the I2C-Bus - Embedded.com." <https://www.embedded.com/opto-electrical-isolation-of-the-i2c-bus/> (accessed Nov 08, 2021).
  - [13] "I<sup>2</sup>C - Wikipedia, la enciclopedia libre." [https://es.wikipedia.org/wiki/I<sup>2</sup>C](https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C) (accessed Nov. 09, 2021).
  - [14] "Serial communication between two Arduino boards." <https://www.electronicclinic.com/serial-communication-between-two-arduino-boards/> (accessed Nov. 09, 2021).
  - [15] "Arduino - Home." <https://www.arduino.cc/> (accessed Nov. 09, 2021).
  - [16] "4.2.1 M2: dos Arduinos · GitBook." [https://catedu.github.io/programa-arduino-mediante-codigo/montaje\\_2\\_conectar\\_dos\\_arduinios.html](https://catedu.github.io/programa-arduino-mediante-codigo/montaje_2_conectar_dos_arduinios.html) (accessed Nov. 09, 2021).
  - [17] "ADS1115 convertidor analógico digital ADC para Arduino y ESP8266." <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ads1115-convertidor-analogico-digital-adc-arduino-esp8266/> (accessed Nov. 09, 2021).
  - [18] "R-78C5.0-1.0 | Regulador de conmutación, entrada 8 → 42V dc, Salida 5V dc, 1A, 5W | RS Components." <https://es.rs-online.com/web/p/reguladores-de-conmutacion/7398290> (accessed Nov. 09, 2021).
  - [19] "DC/DC Converters," Accessed: Nov. 09, 2021. [Online]. Available: <http://www.tracopower.com>.
  - [20] "AZ-Delivery: su experto en microelectrónica." <https://www.az-delivery.de/es> (accessed Nov. 15, 2021).



- [21] “Módulo de 4 relés para Arduino | profe Tolocka.” <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/> (accessed Nov. 15, 2021).
- [22] “Leer y escribir en una tarjeta SD o micro SD con Arduino.” <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [23] “Reloj con Arduino, cómo controlar los tiempos con un RTC.” <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/reloj-con-arduino-rtc/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [24] “LESSON 12: Simple and Easy Way to Read Strings Floats and Ints over Arduino Serial Port - YouTube.” [https://www.youtube.com/watch?v=Vla\\_QZWl0nQ](https://www.youtube.com/watch?v=Vla_QZWl0nQ) (accessed Nov. 18, 2021).
- [25] “Cómo Utilizar el Puerto Serie del Arduino en 5 minutos.” <https://www.automatizacionparatodos.com/puerto-serie-arduino/> (accessed Dec. 01, 2021).
- [26] “Enviar y recibir números por puerto serie en Arduino.” <https://www.luisllamas.es/enviar-recibir-numeros-puerto-serie-arduino/> (accessed Dec. 08, 2021).
- [27] “BU-903: How to Measure State-of-charge - Battery University.” <https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge> (accessed Dec. 08, 2021).
- [28] “Battery SOC to Voltage Chart - Octopus Electrical Service.” <https://octopusasia.com/battery-soc-to-voltage-chart/> (accessed Nov. 10, 2021).
- [29] “Library Basics Part 1: Creating Packages | EAGLE | Blog.” <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/library-basics-part-1-creating-first-package-autodesk-eagle/> (accessed Nov. 12, 2021).
- [30] “How to Generate Gerber and Drill Files in Autodesk Eagle - JLCPCB: Help & Support.” <https://support.jlpcb.com/article/137-how-to-generate-gerber-and-drill-files-in-autodesk-eagle> (accessed Nov. 19, 2021).
- [31] “Comenzar con Arduino MKR1000, soldando pines.” <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/comenzar-arduino-mkr1000-soldando-pines/> (accessed Dec. 20, 2021).
- [32] “Arduino Mega 2560 – Proyecto Arduino.” <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/> (accessed Dec. 21, 2021).